

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky**

**PASPORTIZACE A OPTIMALIZACE SVOZOVÝCH
TRAS KONTEJNERŮ V MĚSTSKÉ ČÁSTI OSTRAVA
PORUBA**

**PHYSICAL INVENTORY AND OPTIMALIZATION OF
WASTE COLLECTION ROUTES IN OSTRAVA
PORUBA**

Diplomová práce

Bc. Michal Čížek

OSTRAVA 2009

Prohlašuji, že

- *celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Při práci jsem využil open source projekty Jump-Project, JGraphT, Sarovar.org.*
- *jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (resp. bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo*
- *beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou (resp. bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3)*
- *souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (resp. bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové (resp. bakalářské) práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*
- *bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst.4 autorského zákona.*
- *bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (resp. bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

V Ostravě dne 1.4.2009

Bc. Michal Čížek

Hodonín, Dobrovolského 253/5

Rád bych poděkoval touto cestou vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Ďurichovi, za projevenou pomoc a pochopení při tvorbě této práce. Dále mé poděkování patří rodičům, přítelkyni celé mé rodině za podporu během studia, které nebylo vždy lehké a zrovna nejkratší, avšak i touto prací pomalu ale jistě spěje k závěru. Díky!

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Tato diplomová práce popisuje pasportizaci sběrných míst (kontejnerových stání) na netříděný odpad, formou GPS mapování a následnou optimalizaci svozových tras mezi těmito sběrnými místy v zájmovém území Ostrava Poruba. Teoretická část práce se zabývá stručným popisem problematiky globálních navigačních a polohových systémů, teorie grafů a Problému obchodního cestujícího, které s daným tématem úzce souvisí. V praktické části jsou popsány postupy samotného mapování a optimalizace svozových tras, které byly řešeny pomocí programových prostředků společnosti ESRI, nejvíce v aplikaci ArcGIS 9.3, extenze Network Analyst. Práce by měla sloužit jako pilotní projekt pro organizace zabývající se svozem odpadů a přispět k zefektivnění jejich logistických procesů.
- V práci nebo při její tvorbě byla využita data poskytnutá Magistrátem města, Ostravy a Silniční databankou Ostrava.

Klíčová slova: Optimalizace trasy; Pasportizace; Svoz odpadu; GPS; Mapování; Ostrava Poruba; Teorie grafů

ANNOTATION OF THESIS

- This thesis describes a process of Physical inventory of waste collection sites, by the GPS mapping method and consecutive optimization of waste collection routes amongst these sites. In theoretical part there are described briefly Global positioning system, graph theory and Travelling salesman problem that are related closely to the theme. While practical part is deal with mapping with portable devices and optimization of waste collection routes, that were solved in ESRI software products, mainly ArcGIS 9.3, extension Network Analyst. The thesis should help to waste collecting companies to improve their logistic processes.
- There were used datasets released by the municipal authorities of Ostrava and Silniční databanka Ostrava in the thesis.

Keywords: Route optimization; Physical inventory; Waste collection; GPS; Mapping; Ostrava Poruba; Graph theory

SEZNAM ZKRATEK

České zkratky

angl. - anglicky

ČR - Česká republika

HZS ČR -Hasičský záchranný sbor ČR

ITS systém -integrovaný dopravní systém

VŠB -Vysoká škola Báňská

Cizojazyčné zkratky

NP – Non-polynomial complete

BMCS -Backup master control station

C/A -Coarse / Acquisition code

GPS -Global Positioning System

MCS -Master control station

NUDET – The United States Nuclear Detonation

USNDS - United States Nuclear Detonation Detection System

PC – Personal Computer

PRN –Pseudorandom Numer

RTK -Real-Time Kinematic

SoL -Safety-of-life

TMC -Traffic Message Channel

USA -United States of America

WMS -Web Map Service

NA – Network Analyst

Osnova

Úvod	1
1 Cíle práce	3
2 Teoretická část	3
2.1 Teorie grafů.....	3
2.2 Teorie hledání optimální cesty.....	7
2.2.1 Problém obchodního cestujícího.....	7
2.2.2 Dijkstrův algoritmus	8
2.2.3 Floydův algoritmus	9
2.3 Praktické metody optimalizace trasy	10
2.4 Pasportizace	13
2.5 Globální navigační a polohové systémy	13
2.5.1 GPS	14
2.5.1.1 Kosmický segment.....	14
2.5.1.2 Řídící segment	16
2.5.2.3 Uživatelský segment	18
2.6 Mapování a měření pomocí GPS	19
2.6.1 Autonomní měření GPS.....	19
2.6.2 DGPS	19
3 Praktická část.....	21
3.1 Pasportizace sběrných míst.....	21
3.2 Mapování	24
3.3 Data a příprava projektu	26
3.3.1 Data	26
3.3.2 Příprava projektu.....	27
3.3.3 Samotné mapování.....	28
3.4 Optimalizace svozových tras	31
3.4.1 ArcGIS Network Analyst.....	32
3.4.1.1 Vytvoření datového modelu na bázi shapefilu	33
3.4.1.2 Načtení datasetu do ArcMapu a import zastávek	34
3.4.2 Výsledek analýzy – nalezení optimální trasy	36
3.4 Modifikace úlohy optimalizace tras.....	38
3.4.1 Vytvoření optimálních tras pro jednotlivé svozové dny	39
3.4.1.1 Uterý	39
3.4.1.2 Čtvrtek	39
3.4.1.3 Sobota	39
4 ZÁVĚR.....	41

Úvod

Každý den našeho života se přemísťujeme z místa na místo. Neustálý pohyb lidskou civilizace doprovází již od jejího vzniku, tak jako každého člověka od rána do večera, libovolný den jeho života. Čím je naše civilizace vyspělejší, tím potřebuje ke své existenci více a více pohybu a tento proces se potom v našem životě uplatňuje čím dál významněji. Člověk je schopen pohybu na delší vzdálenosti, umí se pohybovat stále rychleji, za pomoci nových vynálezů a technologií. Nejenom to. S rozvojem společnosti je potřeba přemísťovat stále větší objemy zboží, lidí a s tím spojených dopravních prostředků. Pohyb a transport se, ať chceme, či nechceme dotýká všeho a všech.

Optimalizace činností a procesů spojených s přepravou je v dnešní době neustálého snižování nákladů jednou z hlavních priorit celé společnosti. Lidé i firmy se snaží o neustálé zdokonalování dopravních systémů, což sebou přináší vyšší produktivitu práce a úspory. A právě ti, jenž se zabývají dopravou profesionálně, kladou zřetel mimo jiné na snižování nákladů na pohonné hmoty, opotřebení vozového parku, ale úspory časové. Čím více času podnik či firma ušetří, tím nižší budou náklady na mzdy jejich pracovníků, jak řadových, tak i řídicích. Neboli jak praví klasik: „čas jsou peníze“.

Doprava znamená přemísťování daného zboží či výrobků či osob z bodu A do bodu B po trase, která tyto dva body spojuje a úspora v tomto případě znamená, tuto trasu co nejvíce optimalizovat, tedy nalézt takovou cestu, která je nejkratší nebo nás dovede k cíli nejrychleji. V této oblasti sehrává čím dál větší úlohu výpočetní technika ve spojení s navigačními a polohovými systémy. Je totiž nepředstavitelné a při rozsáhlosti dopravních sítí ani praktické, aby člověk optimalizační úlohy řešil jiným způsobem, jelikož jsou již při malých počtech variant tras velmi náročným matematickým problémem.

Představte si modelovou situaci: Jste zaměstnancem jakékoliv firmy a potřebujete se dostat do pobočky, která je na druhém konci města. Dva kolegové, kteří to náhodou zaslechnou, přispěchají každý se svou radou, která z cest je podle nich „zaručeně nejlepší“, a světe div se, obě trasy jsou úplně jiné. Oba kolegové totiž mají o tom, co to znamená nejlepší trasa, rozdílné představy. Jeden z nich se chce dostat do pobočky co nejrychleji a druhý preferuje, aby najel co nejméně kilometrů. Již na tomto příkladu je vidět,

že optimalizace tras skýtá mnoho možností řešení a mnoho úhlů pohledu ze kterých na ní nazíráme. Vždy je potřeba přesně teoreticky definovat, kterým směrem se bude optimalizace ubírat, a jak budeme její výsledky aplikovat v praxi.

Pokud chceme pro potřeby optimalizace používat moderní sofistikované metody a porozumět tomu jak fungují, je třeba nahlédnout do problematiky teorie grafů a síťových analýz, jelikož právě tyto obory jsou s nalezením nejkratší cesty velmi úzce spojeny.

1 Cíle práce

- Po získání potřebných vstupních dat, zaměření sběrných míst (kontejnerových stání) pro sběr netříděného tuhého komunálního odpadu
- Seznámení se programovými prostředky, které obsahují nástroje pro plánování a optimalizaci tras.
- Vygenerování optimálních svozových tras na základě frekvence svozu jednotlivých míst.

2 Teoretická část

2.1 Teorie grafů

Teorie grafů představuje dnes již samostatně rozvinutou matematickou disciplínu, jejíž aplikace nacházíme v řadě oblastí. Významně se uplatňuje například v operačním výzkumu a své místo zaujímá i v prostorové analýze, a to především interakčních dat. Postupně se však uplatňuje i pro topologický popis a analýzu areálů. [1]

Pro potřeby následujícího textu je potřeba osvětlit některé pojmy z této teorie.

Graf je matematická struktura modelující skutečnost, že v nějaké množině prvků existují vazby. Pro prvky se používá označení uzly, pro vazby označení hrany. Hrany spojují uzly a skutečnost, že hrana vstupuje nebo vystupuje z uzlu, se označuje jako incidence. [2]

Graf lze tedy vizuálně znázornit jako množinu bodů, reprezentující například křižovatky a množinu linií, reprezentující úseky silnic, tyto křižovatky spojujících. A stejně jako silnice mohou být průjezdné obousměrně nebo je jízda omezena jenom na jeden směr, i hrany v grafu mohou být neorientované nebo orientované. Mimo orientaci, mohou mít hrany přiřazeny i další atributy charakterizující odpor proti pohybu po hraně. Například délku hrany, čas potřebný k jejímu průchodu nebo její cenové ohodnocení. Tyto atributy nazýváme impedancí.

Pojmy z teorie grafů stále nejsou jednoznačně definovány a jednotlivé interpretace termínů se do dnešních dnů liší, v závislosti na autorech publikací, pojednávajících o této problematice. Téma teorie grafů je natolik obsáhlé, že úplný výčet termínů a jejich

podrobnější popis není v možnostech této práce, proto je zde uvedeno jenom několik základních termínů, viz. tabulka č.1.

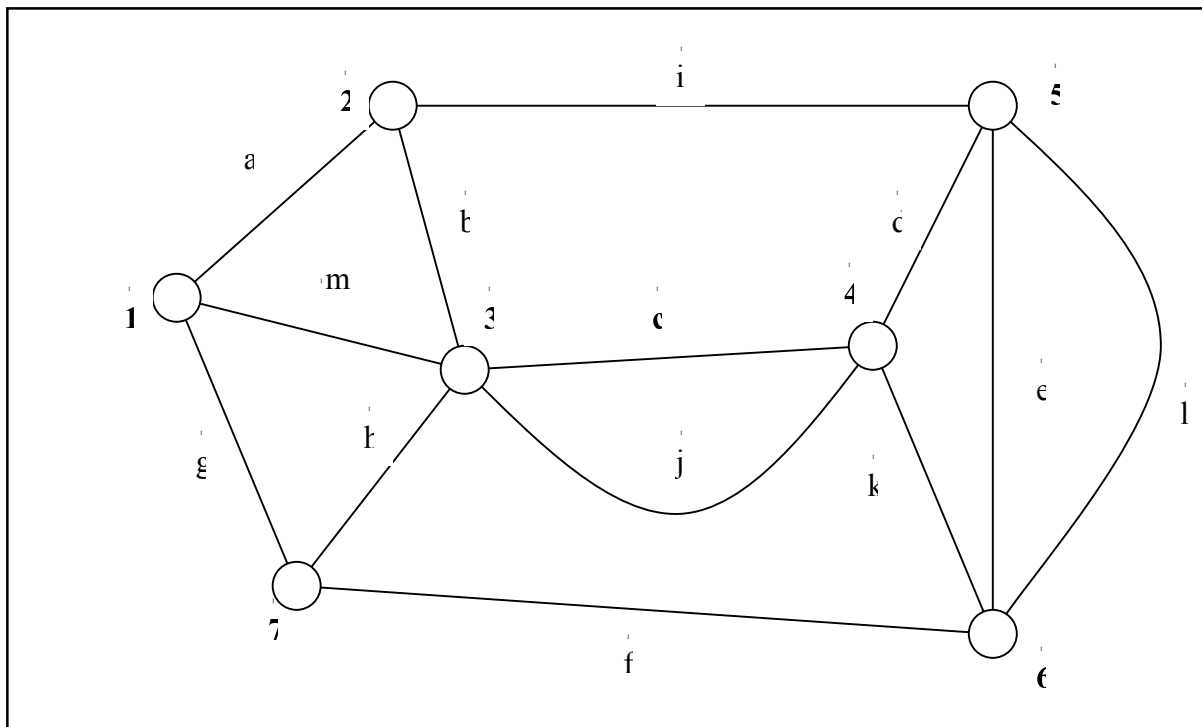
Tabulka č. 1: Vybrané termíny z teorie grafů

termín	Popis
Neorientovaná hrana	hrana bez vyznačení směru
Orientovaná hrana	hrana s vyznačením směru
Rovnoběžné hrany	hrany, které incidují se stejnými uzly
Násobné hrany	rovnoběžné hrany, které jsou všechny stejně orientované nebo ani jedna z nich není orientovaná
Sled	posloupnost na sebe navazujících hran
Tah	sled, ve kterém se každá hrana vyskytuje nejvýše 1x
Cesta	tah, ve kterém se každý uzel vyskytuje nejvýše 1x
Kružnice	uzavřená cesta
Hamiltonovská kružnice	taková cesta, která projde právě jednou všechny uzly grafu a mezi jejíž výchozím a konečným uzlem existuje platná cesta
Orientovaný graf	obsahuje pouze orientované hrany
Neorientovaný graf	obsahuje pouze neorientované hrany
Smíšený graf	obsahuje orientované i neorientované hrany
Konečný graf	jeho množina uzlů a hran je konečná. Většina praktických úloh řeší právě konečné grafy
Ohodnocený graf	graf, kde jsou hranám přiděleny hodnoty větší než nula
Síť	orientovaný graf s kladným reálným ohodnocením hran a s reálným ohodnocením uzlu.

Abychom získali z grafu data, použitelná k matematickým výpočtům, je třeba kvalitativní a kvantitativní charakteristiky grafu zapsat do matic. Nejčastěji užívanými maticemi pro potřeby síťové analýzy a nalezení nejkratší cesty jsou:

- **matice incidence** – do matice incidence se zapisuje, jestli existuje spojení mezi danými uzly a hranami. Necht' jsou uzly označeny čísly a hrany písmeny abecedy. Potom při existenci spojení mezi hranou a uzlem zapíšeme na příslušné místo v tabulce jedničku. Pokud incidence neexistuje, zapíšeme nulu. V případě orientovaného grafu se používají i mínus jednička pro hranu, která vstupuje do uzlu
- **matice sousednosti** – v této matici je zaznamenáno, kolik hran existuje mezi dvěma uzly, které spolu sousedí.
- **cenová matice** – do matice se zapisuje ohodnocení hran (délka, čas, cena)
- **odbočovací matice** – vyjadřuje, zda a za jakých podmínek je možno z jedné hrany v daném směru pohybu odbočit do jiné hrany – tzv. uzlová pravidla. Pokud využijeme analogii se silničním provozem – do jednosměrné ulice nelze odbočit v protisměru a tedy v příslušném poli tabulky by byla tato skutečnost zaznamenána.

Dalším příkladem atributu může být čas potřebný pro odbočení vlevo, z důvodu dávání přednosti protijedoucím vozidlům.



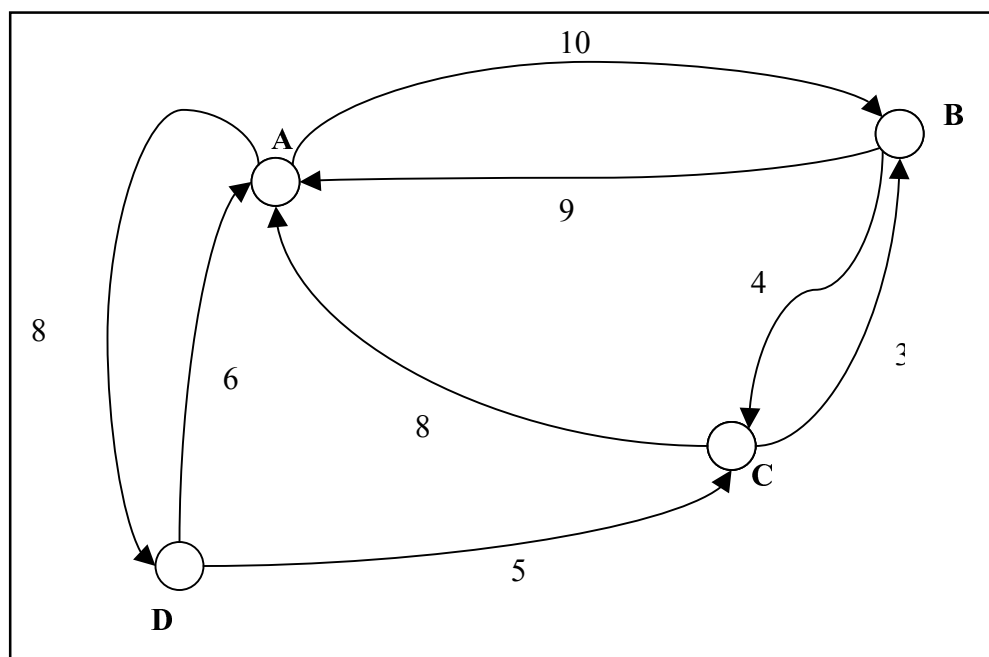
Graf č. 1: Graf sítě - incidence a sousednost

Tabulka č. 2: Matice incidence pro graf č.1

		Uzly						
		1	2	3	4	5	6	7
hrany	a	1	1	0	0	0	0	0
	b	0	1	1	0	0	0	0
	c	0	0	1	1	0	0	0
	d	0	0	0	1	1	0	0
	e	0	0	0	0	1	1	0
	f	0	0	0	0	0	1	1
	g	1	0	0	0	0	0	1
	h	0	0	1	0	0	0	1
	i	0	1	0	0	1	0	0
	j	0	0	1	1	0	0	0
	k	0	0	0	1	0	1	0
	l	0	0	0	0	1	1	0
	m	1	0	1	0	0	0	0

Tabulka č. 3: Matice sousednosti pro graf č.1

		Uzly						
		1	2	3	4	5	6	7
uzly	1	0	1	1	0	0	0	0
	2	1	0	1	0	1	0	0
	3	1	1	0	2	0	0	0
	4	0	0	2	1	1	0	1
	5	0	1	0	1	0	2	0
	6	0	0	0	1	2	0	1
	7	1	0	1	0	0	1	0



Graf č.2: Graf s ohodnocenými hranami

Tabulka č. 4: Cenová matice pro graf č.2

		uzly			
		A	B	C	D
Uzly	A	0	10	-	8
	B	9	0	4	-
	C	8	3	0	-
	D	6	-	5	0

2.2 Teorie hledání optimální cesty

2.2.1 Problém obchodního cestujícího

Asi nejznámější úlohou pro nalezení optimální cesty je tzv. problém obchodního cestujícího (angl. Traveling salesman problem), ve kterém je dána množina měst a příslušná silniční síť, která tyto města spojuje. Cílem je určit, v jakém pořadí má obchodní cestující projet daná města, aby prošel každým městem právě jednou nebo alespoň jednou, a pak se vrátil do města, ze kterého vyjel, a přitom ujel co nejméně kilometrů.

Problém obchodního cestujícího je tedy obecně obtížný diskrétní optimalizační problém, matematicky vyjadřující a zobecňující úlohu nalezení nejkratší možné cesty procházející všemi zadanými body na mapě.[3]

Problém obchodního cestujícího patří do množiny NP-úplných problémů (non-polynomial complete). To je třída problémů, pro něž se zatím nepovedlo najít polynomiální algoritmus a jejichž časová složitost je pravděpodobně exponenciální. Prvky z této třídy jsou vzájemně provázány tak, že pokud by existoval polynomiální algoritmus pro jeden z nich, bude existovat polynomiální algoritmus pro všechny ostatní. Obecně se však věří, pro tuto třídu žádný polynomiální algoritmus neexistuje.

Z předcházejícího odstavce vyplývá, že při každém pokusu vyřešit problém obchodního cestujícího, dle zadání, roste exponenciálně doba výpočtu s velikostí problému, což je pro velké problémy časově neúnosné. Avšak tato složitost odpovídá chování algoritmu v nejhorším případě. Není vyloučeno, že existuje algoritmus, jehož průměrná doba výpočtu je polynomiální. Otázka jeho existence však doposud není zodpovězena. Problém obchodního cestujícího můžeme řešit, mimo jiné, pomocí heuristických algoritmů, které nedávají vždy optimální řešení, ale snaží se k němu přiblížit. [převzato z 4]

Heuristický algoritmus slouží nejčastěji jako metoda rychle poskytující dostatečné a dosti přesné řešení, které však nelze obecně dokázat. Nejčastější použití heuristického algoritmu nalezneme v případech, kde není možné použít jiného lepšího algoritmu, poskytujícího přesné řešení s obecným důkazem. [3]

Jako příklad algoritmů užívaných při řešení optimalizačních úloh a úloh nalezení nejkratší cesty je možno uvést:

2.2.2 Dijkstrův algoritmus

Dijkstrův algoritmus slouží k nalezení nejkratší cesty v grafu. Je konečný (pro jakýkoliv konečný vstup algoritmus skončí), protože v každém průchodu cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá právě jeden uzel. Průchodů cyklem je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů. Funguje nad hranově kladně ohodnoceným grafem (neohodnocený graf lze však na ohodnocený snadno převést). [3]

Dijkstrův algoritmus rozděluje vrcholy grafu do dvou skupin, na vrcholy s trvalým ohodnocením a dočasným ohodnocením. Ohodnocením vrcholu zde rozumíme délku cesty (tedy součet ohodnocení hran na cestě) od počátku k danému vrcholu. Trvalé ohodnocení je takové, které už nebudeme měnit, protože o něm víme, že lepšího ohodnocení již nemůžeme dosáhnout. Celý algoritmus se dá shrnout do tří kroků (ohodnocení cesty do vrcholu X budeme značit $|X|$):

1. nalezení vrcholu s minimálním dočasným ohodnocením (nazvěme ho M),
2. prohlášení vrcholu M za trvalý,
3. změna ohodnocení sousedů tak, že $|S| = \min(|S|, |M| + \text{ohodnocení hrany z M do S})$, kde S je soused M.

Na začátku budou všechny vrcholy dočasné a jejich hodnota bude nekonečno až na jednu výjimku a tou bude počáteční vrchol, jehož hodnota bude nula (nejkratší cesta z X do X je cesta o nulové délce). A nyní vstoupíme do cyklu, který bude realizovat body 1,2 a 3 do té doby, než budou mít všechny vrcholy trvalé ohodnocení nebo do doby, kdy bude jako minimální dočasný vrchol nalezen takový, který má dočasné ohodnocení nekonečno. To totiž znamená, že z počátečního vrcholu do vrcholu cílového žádná cesta nevede (graf má více komponent souvislosti a tudíž existují dva vrcholy mezi kterými nevede cesta). Nejdříve je totiž nalezen vrchol s hodnotou nula (počáteční) a prohlášen za trvalý. Poté jsou nalezeni všichni jeho sousedí. Ti jsou dočasní a jejich hodnota (nekonečno) je větší než nula + ohodnocení hrany vedoucí k počátku. Tedy je (podle třetího bodu)

přehodnotíme na $0 + \text{hrana}$ do nich vedoucí a vstupujeme do druhé iterace cyklu. Znovu najdeme minimum (bude to jeden z právě přečíslovaných vrcholů, protože ostatní mají ještě stále hodnotu nekonečno), prohlásíme ho za trvalý, podíváme se na všechny jeho sousedy a v případě nutnosti (tj. podle bodu 3) je přehodnotíme. V případě nutnosti je zde použito proto, že v některé iteraci se může stát že do souseda se dá dostat po cestě s menším ohodnocením (již je taková cesta nalezena), než by byla cesta vedoucí přes vrchol, který je právě teď minimální.

Dijkstrův algoritmus nalezne pouze délku nejkratší cesty, ale ne samotnou cestu. Samotnou cestu lze nalézt zpětným průchodem tak, že budeme mít pomocné pole indexované vrcholy, a pro každý vrchol zde bude uloženo číslo vrcholu, ze kterého jsme sem našli prozatímní (nebo trvalou) minimální cestu. S každou změnou hodnoty vrcholu budeme tedy měnit i předchůdce na nejkratší cestě. A celou cestu nalezneme jednoduchým průchodem tímto polem od vrcholu cílového.

Výhoda tohoto algoritmu spočívá v jeho jednoduchých modifikacích. Někdy používáme ohodnocení hran podle vzdálenosti, někdy podle ceny nebo času. Tyto způsoby ohodnocení lze skloubit a nalézat minimální cestu podle našich preferencí. To znamená, že existují-li dvě stejně drahé cesty, pak se můžeme pro jednu z nich rozhodnout v závislosti na tom, jak dlouho trvá. To uděláme jednoduše tak, že si spolu s cenou cesty budeme v každém vrcholu pamatovat také minimální čas, za který je tam možné dojet. Nastane-li potom v bodě 3 rovnost, tzn. že " $|S|=|M|+\text{ohodnocení hrany z } M \text{ do } S$ ", pak provedeme stejný test, ale hodnoty se budou týkat času a ne ceny. Podle toho cestu do S modifikujeme, nebo ponecháme beze změny. [upraveno podle 3,5]

2.2.3 Floydův algoritmus

Někdy také uváděný jako Floyd–Warshallův, či Roy–Floydův, je počítačový algoritmus, používaný pro nalezení nejkratší cesty v orientovaném grafu s hranami různých vah. Jediný průchod algoritmu spočte nejkratší cestu mezi všemi dvojicemi vrcholů.

Ve Floydově algoritmu postupně vyčísľujeme matice $D_0=C, D_1, \dots, D_n$. Prvek $d_{ij}^{(k)}$ matice $D_k (i=1, \dots, n; j=1, \dots, n)$ vypočteme z prvků matice $D_{k-1} = [d_{ij}^{(k-1)}]$ dle vztahu $d_{ij}^{(k)} = \min(d_{ij}^{(k-1)}, d_{ik}^{(k-1)} + d_{kj}^{(k-1)})$ $i = 1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, n$.

Distanční matice $D_n = [d_{ij}^{(n)}] = [d(u_i, u_j)] = D$, udává ceny $d(u_i, u_j)$. Jestliže se v některé matici $D_k (k=1, \dots, n)$ vyskytne záporný prvek na diagonále $d_{ij}^{(k)} < 0$, potom v grafu existuje cyklus záporné délky procházející uzlem u_i a výpočet je třeba přerušit. Ve Floydově algoritmu jsou postupně počítány ceny $d_{ij}^{(k)}$ nejlevnějších cest z i -tého uzlu do j -tého uzlu, které procházejí přes uzly $1, 2, \dots, k$ (kromě uzlů i a j). Při vlastním výpočtu zřejmě předchází k -tý sloupec a k -tý řádek matice D_{k-1} beze změny do matice D_k . Floydův algoritmus nalezne pouze ceny nejlevnějších cest. Pro zjištění jejich průběhu rozšíříme algoritmus o výpočet matic $P_k = [p_{ij}^{(k)}] n^n, k = 1, \dots, n, P_0 = [p_{ij}^{(0)} = 1] n^n$.

Prvek $p_{ij}^{(k)} = p_{ij}^{(k-1)}$, platí-li $d_{ij}^{(k)} = d_{ij}^{(k-1)}$ a $p_{ij}^{(k)} = p_{kj}^{(k-1)}$, platí-li $d_{ij}^{(k)} = d_{ik}^{(k-1)} + d_{kj}^{(k-1)}$. Nastanou-li oba tyto případy současně, zvolíme libovolný z nich. Prvek $p_{ij}^{(n)}$, matice P_n udává číslo uzlu bezprostředně předcházejícího uzlu j na nejlevnější cestě z i do j . Z matice P_n je tedy možno snadno sestavit průběh nejlevnější cesty mezi dvěma uzly. Existuje-li mezi dvěma uzly více nejlevnějších cest, je v matici P_n zaznamenána pouze jedna z nich.

Úkolem této práce není zdokonalování nebo objevování nových řešení v oblasti hledání nejkratší cesty, nýbrž příprava odpovídajících dat a poté modelování optimální trasy pomocí programových prostředků, které užívají výše uvedené teoretických postupy.

Cílem tedy bylo ověřit jak tyto teoretické postupy a programové prostředky fungují v praxi.

2.3 Praktické metody optimalizace trasy

I v dnešní vyspělé době jsou optimalizace tras sběrného vozu pro sběr odpadu řešena tzv. zkušenostní metodou. Tedy pracovníci, na základě dlouholetých zkušeností, plánují trasu tak, aby byla co „nejvýhodnější“. Pro tuto optimalizaci využívají mnoho „vstupních dat“ jako například: „Dnes je středa a proto bude na Hlavní třídě po ránu hustý provoz. Uděláme tedy nejdřív ulice Růžovou, Fialovou, Modrou a Zelenou, protože tam bude teď klid a potom se vrhneme na tu Hlavní třídu, kde už kolem poledne takový provoz nebude. Navíc na ulici Zelené je fajn bufet, kde se dá výborně nasnídat..“

Z vlastní zkušenosti vím, že pracovníci společností, které se zabývají svozem odpadu, tento způsob optimalizace používají. Nutno říci, že, na tomto praktickém přístupu

lze nalézt i mnohá pozitiva. Přinejmenším je schopen toho, s čím mají automatizované systémy nezřídka kdy potíže, tedy schopnost učit se a také být flexibilní. Automatizovaný systém si totiž neporadí tak lehce s eventualitou překážky na cestě, v podobě spadnutého stromu po noční vichřici, zácpy způsobené dopravní nehodou na frekventované dopravní tepně nebo objížděky z důvodu pořádání cyklistického závodu. Aby flexibilní byl, je velmi důležité takovému systému poskytnout co nejexaktnější vstupní data, na jejichž základě se bude rozhodovat. Toho lze dosáhnout propojením informačních systémů společností které spravují a udržují komunikace a případných systémů svozových společností, se systémy bezpečnostních složek, pro něž by ostatně takovéto aktuální informace byly jistě také přínosem. V praxi by to tedy mohlo fungovat tak, že např. noční hlídka policie, při svých obchůzkách či objížděkách města, při zjištění případné překážky v provozu, tuto zadává do systému aby ostatní uživatelé byli v reálném čase schopní na tuto eventualitu pružně reagovat. Nejenom svoz odpadu by pak bylo možno optimalizovat jednodušeji a flexibilněji a provozovat jej produktivněji.

Již dnes funguje k tomuto účelu vzniklý internetový portál Jednotného systému dopravních informací pro ČR, který provozuje Ředitelství silnic a dálnic ČR. Na adrese www.dopravniinfo.cz jsou publikované dopravní informace pocházející od Policie ČR, HZS ČR, zdravotnické záchranné služby, správců komunikací, silničních správních úřadů, obecních policií, z telematických aplikací a ITS systémů, z dopravních informačních center měst, řídicích center tunelů a mnoha dalších zdrojů, včetně motoristické veřejnosti. [6]
Informace jsou členěny do několika skupin:

Dopravní události -nehody, uzavírky a omezení (aktuální i plánovaná). Informace o dopravních událostech přijímají z výše uvedených zdrojů operátoři, kteří je prověřují, případně doplňují, a následně jsou několika způsoby publikovány (včetně RDS TMC vysílání

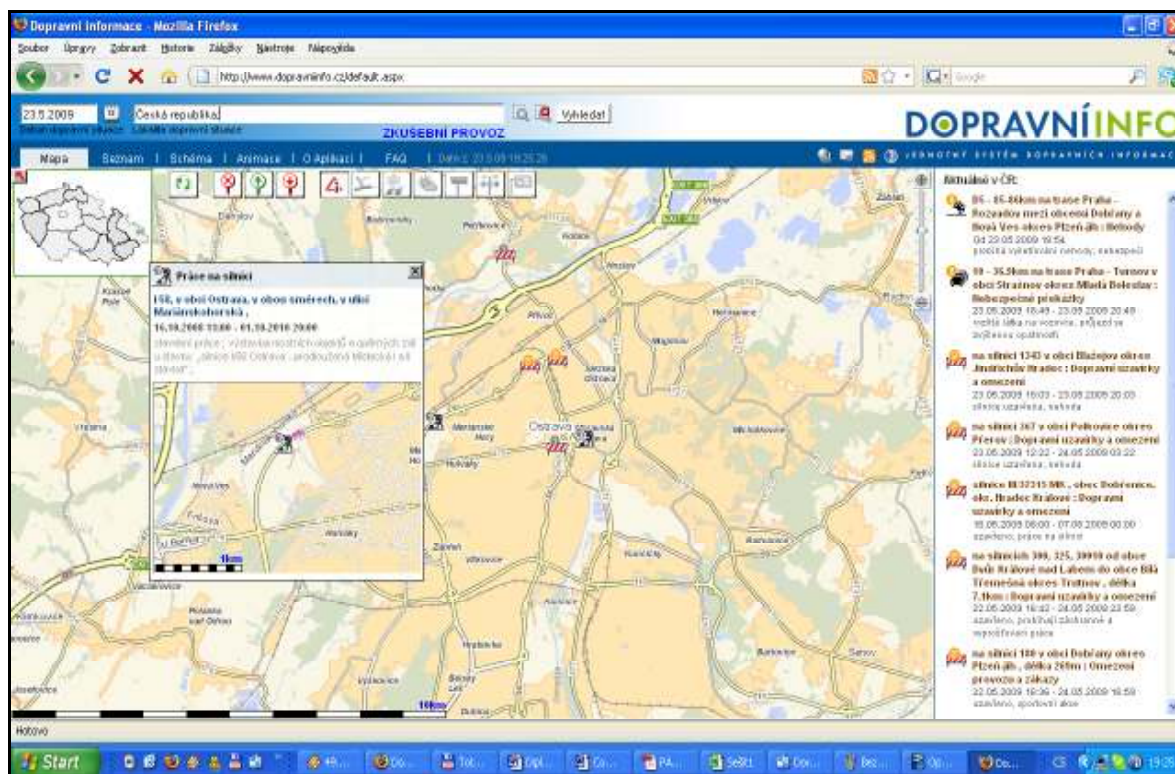
Stupně dopravní zátěže - vyhodnocení intenzity dopravy na průběžně sledovaných úsecích komunikací. Údaje jsou dostupné v největších městech a na vybraných úsecích dálnic. Jsou zobrazovány hodnoty v pěti stupních.

Stav sjízdnost v oblastech - informace o stavu sjízdnosti na komunikacích. Tyto informace jsou Správci komunikací povinni poskytovat v zimním období pravidelně minimálně 5x denně.

Stav počasí v oblastech Stav počasí poskytují správci komunikací souběžně při hlášení o stavu sjízdnosti. Opět se jedná o převažující stav v celé oblasti.

Snímky z kamer na komunikacích Jsou zobrazovány statické snímky z kamer vlastněných Ředitelstvím silnic a dálnic.

Zobrazení obsahu informačních tabulí na komunikacích Jsou zobrazovány aktuální informace publikované na proměnných informačních tabulích a dopravních zařízeních vlastněných Ředitelstvím silnic a dálnic. [6]



Obrázek č. 1: Portál aktuálních dopravních informací www.dopravniinfo.cz

2.4 Pasportizace

K fungování informačního systému, který je schopen pomocí síťových analýz optimalizovat trasy, je potřeba mimo dat reprezentujících uliční či silniční síť, vytvořit fyzickou inventarizaci objektů zájmu daného subjektu, tedy pasportizaci. V případě společnosti zabývající se svozem odpadu je tedy nutno pasportizovat sběrná místa v oblasti její působnosti a výsledná data importovat do výše uvedeného systému. Je potřeba inventarizovat a do databáze uložit nejenom polohu daného subjektu, ale také další informace které tento subjekt charakterizují, tzn. atributy jako jsou např.: počty nádob na jednotlivých místech, (na daném místě se může vyskytovat než jedna), jejich velikost, materiál, ze kterého jsou vyrobeny, četnost svozu atd. Čím přesnější a podrobnější jsou tato data, tím lépe se dá, na základě zadaných kritérií, naplánovat svozová trasa.

2.5 Globální navigační a polohové systémy

Globální navigační a polohové systémy si v dnešní době získávají stále větší oblibu a mnoho lidí si bez jejich pomoci již nedokáže představit řízení motorového vozidla. Sám používám komerční navigační přístroje i pro cesty, jejichž trasu poměrně dobře znám, a to z mnoha praktických důvodů. Navigace je totiž schopna uživateli nabídnout spoustu dalších užitečných funkcí. Když pomíneme příjemný mužský nebo ženský hlas, který vám bude dělat společnost pokud cestujete sám či sama, je vám schopna, na základě vzdálenosti a průměrné rychlosti sdělit čas, který zbývá do dosažení cíle nebo analogicky čas, při kterém se v cíli budete nacházet. V závislosti na typu přístroje a softwaru vám dokonce poskytne informaci o tom, jak daleko je nejbližší benzínová pumpa a v neposlední řadě vám prozradí zda se blížíte k místu, kde je umístěný stacionární radar, či kde často probíhá měření rychlosti policií ČR. Systémy, které přenáší do navigace v reálném čase informace o dopravní situaci tedy tzv. TMC systémy zatím nejsou v ČR ve větší míře užívány, ovšem je jenom otázkou času kdy dojde i u nás k boomu této technologie.

Většina uživatelů navigací pravděpodobně neví, co se skrývá za tím, že je ona „chytrá krabička“ dokáže dovést z bodu A do bodu B a konečně ani takovou informaci znát nepotřebují. Ovšem každý kdo s pomocí navigace někdy řídil, si jistě všiml, že po vjetí do tunelu či pod most přístroj ohlásí „ztrátu signálu GPS“ a navigovat přestane. Tato

zdánlivá drobnost přivede i naprostého laika k myšlence, že dostupnost signálu nutně musí souviset s volným výhledem na oblohu. Na obloze se totiž nachází jeden ze tří segmentů globálního pozičního systému, a to segment, o jehož existenci běžný uživatel tuší nejvíc. Každý jistě někdy slyšel pojem „satelitní navigace“.

2.5.1 GPS

Původně ryze vojenský polohový systém, jehož počátky sahají do 60. let dvacátého století, provozovaný ministerstvem obrany USA. Od roku 2000 je dostupný i pro civilní uživatele, kteří jsou jeho prostřednictvím schopní určit velmi přesně svojí polohu a čas.

Globální poziční systém se skládá ze tří částí, neboli segmentů:

- *kosmický*
- *řídící*
- *uživatelský*

2.5.1.1 Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen soustavou družic, rozmístěných systematicky na oběžných drahách. Počet těchto oběžných drah je šest, jsou vzájemně posunuty o 60° a na každé z nich obíhali původně čtyři, nyní však pět až šest družic. Celkem se tedy jedná o dvacet čtyři respektive až 32 družic. Jejichž oběžná doba je přibližně dvanáct hodin. Oběžné dráhy jsou kruhové a jejich výška je 20.200 km nad zemským povrchem. Systém oběžných drah je navržen tak, aby v každém místě na Zemi byl dostupný signál alespoň ze čtyř družic, které vysílají navigační signály. Pro účely navigace, je tento počet dostačující, ale pro účely mapování a přesných geodetických měření je výhodnější přijímat signál z více těchto družic, v ideálním případě až jedenácti. Každá z těchto družic na palubě nese velmi přesné rubidiové nebo césiové atomové hodiny, kterými se řídí jejich čas. Družice vysílají navigační zprávy v několika frekvencích a každé frekvenci odpovídá jeden vysílací kanál pro vysílání radiových kódů v pásmu L (2000-1000 MHz)

L1 (1575,42 MHz), kde je vysílán C/A (Coarse / Acquisition code) kód, dostupný pro civilní uživatele. C/A kód je 1 023 bitů dlouhá sekvence čísel PRN (Pseudorandom Number), která je vysílána rychlostí 1,023 Mbit/s, opakuje se tedy každou milisekundu

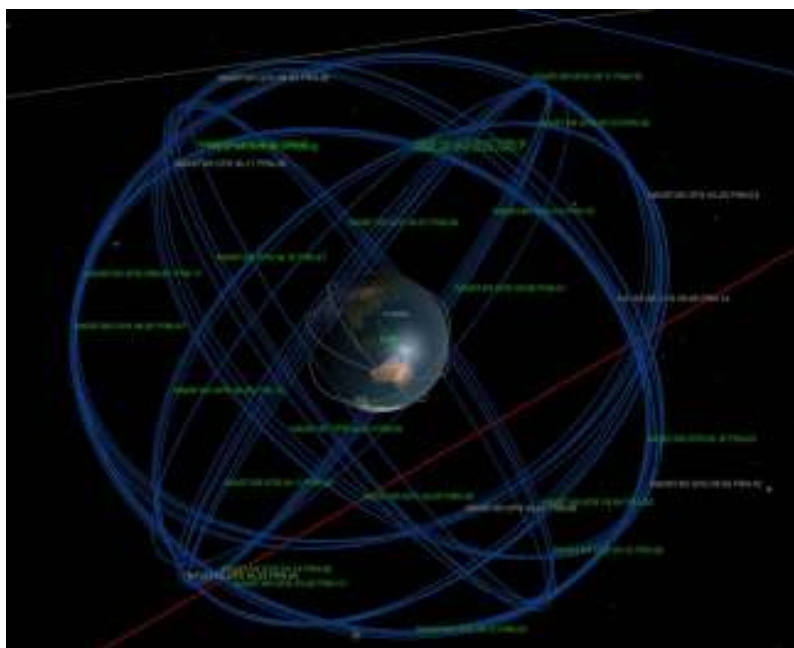
(10-3s). Každá družice vysílá jiný C/A kód. Dále je šířen vojenský P(Y) kód, který je šifrovaný a přístupný pouze pro autorizované uživatele. Družice bloku IIR-M a novější jsou připraveny vysílat vojenský M kód.

L2 (1227,62 MHz), kde je vysílán vojenský P(Y) kód. P kód je také PRN kód, přibližné délky $2,35 \times 10^{14}$ bitů, který je rozdělen na 38 sekvencí, kde 32 je vyhrazeno družicím a 6 rezervováno pro jiné použití. P(Y) kód je šifrovaný P kód. Tímto šifrováním je zapříčiněna tzv. selektivní dostupnost neboli antispoofing. Pomocí této selektivní dostupnosti je možnost dočasně snížit přesnost systému GPS provozovatelem. Družice bloku IIR-M a novější jsou připraveny vysílat vojenský M kód a civilní C kód.

L3 (1381,05 MHz) od bloku družic IIR vysílá signály, které obsahují data monitorování startů balistických raket, detekci jaderných výbuchů a dalších vysokoenergetických zdrojů. Program náleží k The United States Nuclear Detonation (NUDET) a United States Nuclear Detonation Detection System (USNDS)

L4 (1841,40 MHz) se využívá pro měření ionosferické refrakce. Průchod signálu ionosférou způsobuje zpoždění radiového signálu, která se promítá do chyb při určení polohy. Toto ionosférické zpoždění lze eliminovat, jestliže měříme zpoždění na dvou kmitočtech, nebo získáním korekcí.

L5 (1176,45 MHz) se plánuje jako civilní Safety-of-life (SoL) signál. Tato frekvence spadá do mezinárodně chráněné oblasti letecké navigace, ve které je malé nebo žádné rušení za všech podmínek. S vypuštěním první družice bloku IIF, který bude poskytovat tento signál se počítá na rok 2009. [3, 7]



Obrázek č. 2: Kosmický segment GPS [převzato z 9]

2.5.1.2 Řídící segment

Řídící segment je něco jako mozek celého systému a je zodpovědný za řízení celého systému GPS. Má za úkol aktualizovat údaje obsažené v navigačních zprávách vysílaných jednotlivými družicemi kosmického segmentu. [7]

Je tvořen hlavní řídicí stanicí (MCS Master control station), záložní řídicí stanicí (BMCS Backup master control station), třemi stanicemi pro komunikaci s družicemi a osmnácti monitorovacími stanicemi. Viz. Obrázek č. 3.



Obrázek č. 3: Řídicí segment GPS [převzato z 10]

Hlavní stanice se nachází v americkém Coloradu na vojenské základně a je velmi dobře zabezpečena proti zničení, a to i proti případné hrozbě jaderného výbuchu. Na základě přijatých výsledků měření monitorovacích stanic jsou zde počítány přesné údaje oběžných drah, (tzv. efemeridy) a korekce atomových hodin pro jednotlivé družice. Hlavní stanice také zajišťuje řízení kosmického segmentu.

Stanice pro komunikace s družicemi jsou také umístěny na vojenských základnách a umožňují vysílat na družice údaje o jejich oběžných drahách, nastavovat hodiny a aktualizovat navigační zprávy. Družice potom vysílají prostřednictvím radiových signálů efemeridy svých oběžných drah a přesný čas do GPS přijímačů, které reprezentují uživatelský segment.

Monitorovací stanice neprovádějí prakticky žádné zpracovávání přijatých dat, pouze určují prosté zdánlivé vzdálenosti k družicím a ty spolu s přijatými navigačními zprávami přenášejí do hlavní řídicí stanice. Jsou bezobslužné a jsou řízeny dálkově z této řídicí stanice.

2.5.2.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů, které jsou pasivní a tedy jenom přijímají GPS signály z družic. Tyto přijímače pak na základě přijatých signálů provádějí výpočet své polohy, případně rychlosti a času. Pro výpočet všech čtyř souřadnic (x, y, z, t) je zapotřebí přijímat signály aspoň ze 4 družic. Přijímače jsou používány pro potřeby:

- dopravy (pozemní doprava, letectví, námořnictvo, kosmické lety)
- geologie a geofyziky
- geodézie, kartografie a geografických informačních systémů
- archeologie
- lesnictví a zemědělství
- turistiky a zábavy
- zjištění přesného času



Obrázek č. 4: Autonavigace [www.mio.cz]



Obrázek č. 5: Turistická navigace
[www.garmin.cz]

2.6 Mapování a měření pomocí GPS

2.6.1 Autonomní měření GPS

Měření probíhá pomocí jednoho přístroje a používá se zpravidla pro potřeby mapování, které nevyžaduje přílišnou prostorovou preciznost.. K takovému měření lze využít většinu typů GPS přijímačů (včetně nejlevnějších low-end zařízení), které jsou schopny komunikovat s PC či jiným zařízením a jsou schopny naměřené hodnoty do těchto zařízení exportovat. Ke zpřesnění takovýchto měření se používá metoda průměrování, tedy přijímač v měřeném bodě provede několik simultánních měření a výsledná poloha bodu je potom vypočtena z průměru těchto měření. Přesnost takových měření se pohybuje v řádech prvních metrů až desetimetrů.

2.6.2 DGPS

K tomuto způsobu měření, jsou již potřeba minimálně 2 nebo více zařízení. Jeden pohyblivý přijímač, se kterým se zaměřují body v terénu a jedna nebo více referenčních stanic, které poskytují korekce pro zpřesnění polohy pohyblivé stanice. Zde již nastupuje třída dražších a přesnějších přístrojů, které se využívají pro velmi přesná geodetická měření. K tomuto způsobu měření patří např. metoda RTK (Real-Time Kinematic), která umožňuje získat přesnou polohu (souřadnice) přímo v terénu v reálném čase. Metoda je postavena na fázových měřeních pomocí GPS přijímače, které kombinuje s příjmem korekcí z referenční stanice (tzv. base). Referenční stanice přijímá signál z GPS družic, výsledky měření přenáší pomocí komunikačního kanálu k pohyblivé stanici. Korekce jsou použity pro zpřesnění určení polohy pohyblivé měřicí stanice (tzv. rover). Pro vzájemné spojení referenční stanice a pohyblivé stanice je potřeba vytvořit stálý komunikační kanál, který umožňuje přenos dat, přes různá přenosová média (bezdrátové datové sítě, mobilní telefony). Pohyblivá (přenosná) stanice dokáže přijímat data z družic, společně s daty naměřené referenční stanicí. Tyto data dokáže přijímač zpracovat a vyhodnotit svojí přesnou polohu v prostoru. Podmínkou správného použití je, aby

referenční stanice i pohyblivá aparatura přijímaly signály ze stejných družic a v jejich vzájemném stejném rozmístění, doporučuje se viditelnost na osm družic, minimální vhodný počet je šest. [12, 11]

3 Praktická část

3.1 Pasportizace sběrných míst

Prvním úkolem praktické části tohoto projektu byla pasportizace sběrných míst, tedy fyzická inventarizace stanovišť, na kterých se nacházejí kontejnery na smíšený odpad. Pro potřeby této diplomové práce bylo použito modelové území v městské části Ostrava - Poruba, ohraničené ulicemi Opavská, Františka Čechury, Bedřicha Nikodéma, Martinovská a Průběžná, viz. mapa níže.

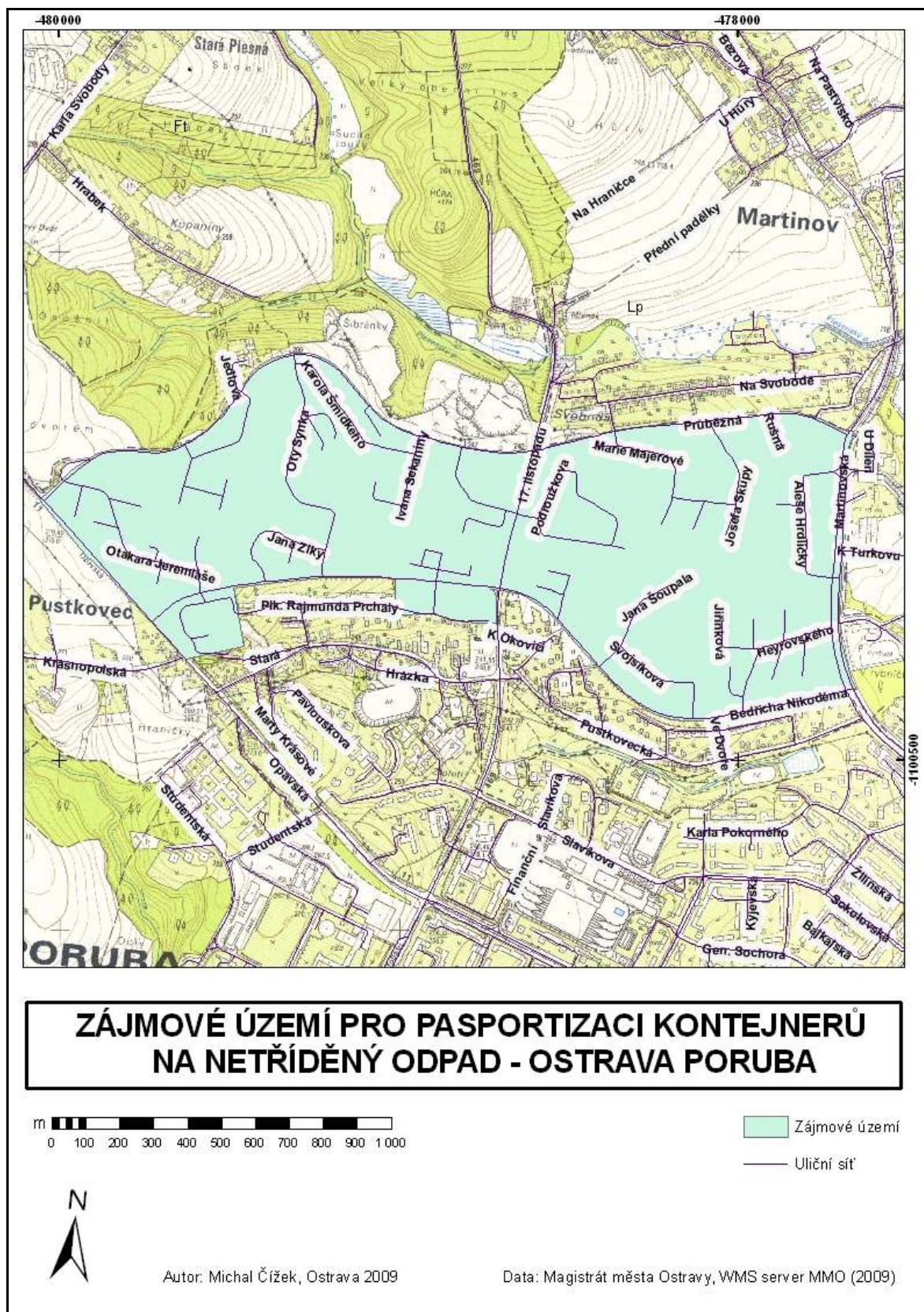
Projekt neměl ambice vytvořit funkční verzi informačního systému, který by bylo možno využívat v praxi svozovou společností, ale měl by posloužit jako pilotní model, na jehož základě se dá ověřit funkčnost takového systému. Při pasportizaci bylo užito metody GPS stand alone mapování, tedy autonomního měření pouze s jedním přístrojem, bez možnosti korekcí. Kvantitativní data byla uložena do tabulky vytvořené při přípravě projektu pro ArcPAD. U sběrných míst byly ukládány následující atributy viz. vzorový řádek tabulky atributů ArcGIS 9.3.

Export output							
OBJECTID	POCET_NADO	DATUM_MER	VELKOOBJEM	ULICE_1	Svoz_Ut	Svoz_Ct	Svoz_So
1	2	30.3.2009	1	Oty Synka	1	1	1

Obrázek č. 6: Vzorový řádek tabulky atributů



Obrázek č. 7: Jedním ze sledovaných atributů byla i četnost svozu.

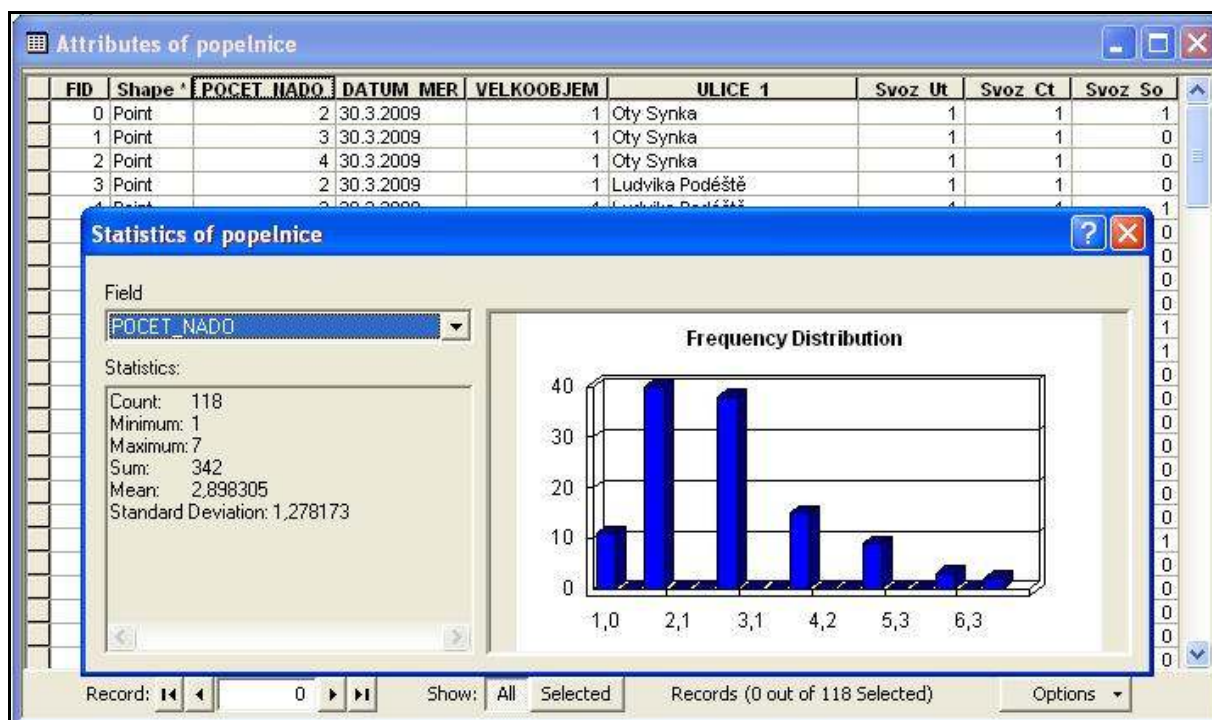


Obrázek č.8: Přehledová mapa zájmového území

Atributy zaznamenávané při mapování:

OBJECTID - Každé sběrné místo reprezentované naměřeným bodem má svoje ID

POCET_NADO – vyjadřuje počet nádob (kontejnerů), který se vyskytuje na daném sběrném místě. Jak je vidět na grafu níže, nejčastěji jsou na sběrných místech 2 nebo 3 nádoby. Nejnižším počtem nádob je 1 a nejvyšším 7. Celkem je na sledovaném území 342 nádob na 118 sběrných místech.



Obrázek č. 9: Statistika atributu „Počet nádob“

DATUM_MER – v tomto atributu je uložena informace, který den bylo zaměření daného bodu provedeno.

VELKOOBJEM – tento atribut může nabývat dvou hodnot, a to 1 a 0. Jelikož se na sledovaném území nacházejí jenom činžovní domy a u nich jsou pouze velkoobjemové (1200 l) kontejnery, v celé tabulce se vyskytuje jenom hodnota 1. Při přípravě projektu v ArcPADu jsem původně myslel, že tento atribut bude nabývat dvou hodnot, tedy, že budu inventarizovat i malé popelnice jaké jsou u rodinných domů, ale tyto popelnice sváží jiný typ vozů, než ty velkoobjemové, a tedy pro tuto optimalizační analýzu nakonec není potřeba. Navíc v tomto případě o optimalizaci ani nelze uvažovat, jelikož při svozu

odpadu u rodinných domů jsou brány všechny popelnice jedna po druhé. Optimalizovat by se tedy dalo až na úrovni ulic.

ULICE – Informace, na které ulici se sběrné místo nachází. Tento atribut někdy nebylo lehké určit, jelikož kontejnerová stání bývají na rozhraní jednotlivých ulic

Svoz_UT (CT, SO) – frekvence svozu jednotlivých míst, na základě které byla později generována optimální trasa.

3.2 Mapování

Jelikož zaměření sběrných míst pro potřeby síťové analýzy nevyžaduje přílišnou prostorovou přesnost, zvolil jsem pro mapování prostředky které jsem měl k dispozici a které běžně používám ve spojení s notebookem k navigaci. Tedy GPS modul německé firmy NAVILOCK s modelovým označením NL-302U. Tento modul komunikuje s notebookem nebo jiným mobilním zařízením pomocí kabelu a USB rozhraní a tudíž mi po zkušenostech, které mám s bluetoothovými moduly přišel vhodnější. Kabelové spojení je stabilní, a nedochází k jeho výpadkům, tak jako v případě bezdrátové technologie. Modul NAVILOCK podporuje protokol NMEA 0183 a samozřejmě svojí polohu udává v souřadnicovém systému WGS-84. Jeho specifikaci převzatou z oficiálních stránek výrobce uvádím v následující tabulce.

Tabulka č. 5: Specifikace použitého GPS přijímače

GPS přijímač: NL-302U - USB
USB rozhraní: 1.1 (použitelný i na USB 2.0 rozhraní)
Chipset: SiRF Star III High Performance
Operační systém: Win 98/98SE/ME/2000/XP/Vista nebo Linux
Frekvence: L1, 1575.42 MHz
C/A kód: 1.023 MHz
Počet kanálů: max. 20
Citlivost: -159 dBm
Přesnost: 10 m, 2D RMS
Rychlost: 0.1 m/s
Synchronizace času s GPS
Datum
Souř. Systém: WGS-84
Time
Opakované nalezení polohy: 0.1 s
Horký start: 1 s
Teplý start: 38 s
Studený start: 42 s

Max. výška příjmu: 18.000m
Max. rychlost: 515 m/s
Max přetížení: 4G
Interní paměť pro rychlejší znovunalezení polohy
Napětí: 5 V přes USB kabel
Proud: cca 80 mA
Výstupní napětí: 0 V ~ 2.85 V
Přenosová rychlost: 4,800 bps
Podporované protokoly: NMEA 0183 GGA, GSA, GSV, RMC, GLL, opt. VTG
Rozměry: 53 mm x 19,2 mm
Délka kabelu: 1,5 m
Provozní teplota: -40°C až +85°C
Led dioda indikující status přijímače
Magnet pro uchycení na střeše automobilu
Vysoce citlivá aktivní GPS anténa
Voděodolná úprava přístroje

Po shlédnutí výsledků prvního testovacího mapování jsem uvažoval o zapůjčení univerzitní GPS RTK aparatury, abych dosáhl větší přesnosti měření, ovšem později jsem od tohoto plánu ustoupil ve snaze ukázat, že k mapování člověk nepotřebuje jenom nákladné vybavení, a že ho lze dostatečně účelně provést i s běžně dostupným zařízením a vyzkoušet si jeho funkčnost i pro jinou úlohu než je autonavigace. Polohu některých bodů jsem následně mírně upravoval, tak aby ležely uvnitř zájmového území – toto bylo potřeba hlavně u bodů, které ležely blízko jeho hranice. Některé body vně území jsem naopak záměrně ponechal na místě, na kterém je GPS zaznamenala, právě proto, abych na poukázal na nepřesnost zařízení, se kterou jsem se někdy při mapování setkal. Toto lze přičíst poměrně vysoké okolní zástavbě v některých místech sídliště, kdy ve spojení s hustým stromovým bránilo pořádnému dostatečnému výhledu na oblohu. Vzhledem k třídě GPS přijímače a míře očekávání ale lze výsledky měření, ve většině případů, pokládat za dostatečné. Pro přesnější mapování metodou RTK by bylo třeba použít real-time korekcí, či post-processingu k zpřesnění měření a také plánování měřičské kampaně, viz. další kapitola.

3.3 Data a příprava projektu

3.3.1 Data

Ještě před započítím samotného projektu bylo potřeba získat podkladová data, nad nimiž bude mapování probíhat. Aby nebylo potřeba vektorizovat uliční a silniční síť, minimálně v zájmovém území, požádal jsem o data Magistrát města Ostravy, oddělení geografického informačního systému a tyto mi byla poskytnuta. Jednalo se o vrstvy katastrální mapy a uliční sítě. V následující tabulce uvádím přehled těchto vrstev, a jejich atributů, včetně vrstev, které jsou volně přístupné na WMS serveru magistrátu na adrese: <http://gisova.ostrava.cz/wmsconnector/com.esri.wms.Esrimap?ServiceName=wms&>

Vrstva	formát	Atributy / vlastnosti vrstev
Katastrální mapa	shapefile	číslo parcely, druh parcely, výměra, atd.
Uliční síť	shapefile	id linie, délka linie, koncové uzly linie, název ulice
Názvy ulic	WMS Service Sub-Layer	Popisky pro uliční síť
let_sn08	WMS Service Sub-Layer	Letecký snímek

Tabulka č. 6: Přehled vrstev poskytnutých Magistrátem města Ostravy s jejich vlastnostmi

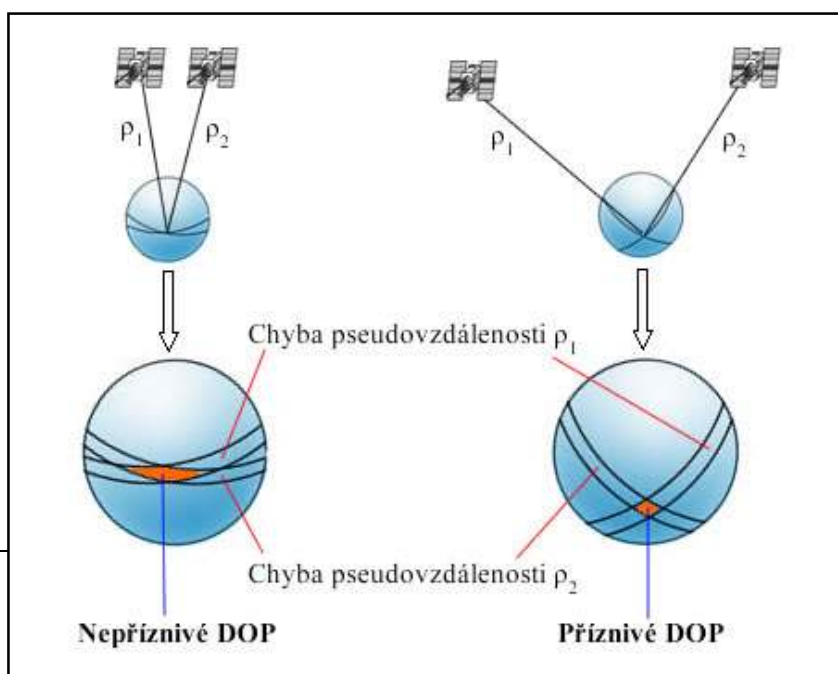
Původně jsem myslel, že budu využívat volně dostupná data, poskytovaná Ředitelstvím silnic a dálnic, prostřednictvím Silniční databanky Ostrava. Tyto data jsou zdarma ke stažení na webových stránkách <http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Silnicni-databanka-Ostrava/vyuziti-informacni-zakladny>. Tato data by byla pro můj projekt velmi vhodná, jelikož obsahují velké množství informací a atributů, které se využívají právě v síťových analýzách k nalezení optimální trasy.

Vrstva úseků obsahuje informace o čísle komunikace, dopravním směru, délce úseku atd. Ve vrstvě uzlů jsou mimo jiné uloženy i informace o typech křižovatek. Dále je k dispozici vrstva s doprovodnými informacemi o silniční síti, jako počet jízdních pruhů, druh vozovky, tvar křižovatek, typ řízení dopravy na křižovatkách. Data jsou uložena ve formátu ESRI shapefile a měřítko podkladových dat je 1:50 000. Bohužel však podrobnost těchto vrstev jde „jenom“ do úrovně silnic III. třídy a tedy jsou vhodná spíše pro optimalizaci tras mezi jednotlivými městy či obcemi ale ne v síti ulic daného města.

Tyto data však s úspěchem použil Ing. Petr Fuks Ph.D. ve své diplomové práci (APLIKACE PRO PLÁNOVÁNÍ ROZVOZU ZBOŽÍ, VŠB Ostrava 2005), která byla do jisté míry inspirací pro vytvoření mé práce.

3.3.2 Příprava projektu

Přípravou projektu se rozumí příprava podkladových vrstev dat, Tyto data mohou být rastrového nebo vektorového formátu nejsou ve své podstatě pro samotné mapování nezbytně nutná (stačilo by zaměřenou vrstvu k podkladovým datům připojit dodatečně), slouží ale uživateli při mapování k lepší orientaci v terénu a člověk má kontrolu přesnosti měření. Pokud se týká právě přesnosti měření – pro precizní geodetické mapování je potřeba čas tzv. plánování kampaně, což spočívá k výpočtu konstelace družic pro daný čas a místo měření. K tomuto plánování slouží buď speciální software dodávaný např. firmou TopCon (TopCon Occupation planning) nebo se dá provést i na internetu na stránce: <http://www.calsky.com/cs.cgi> Stačí zadat datum a přesný čas plánovaného měření a zeměpisné souřadnice místa měření a program vám vypočítá, parametry DOP, které vypovídají o možném vlivu konstelace družic na chybu měření. Čím vyšší DOP tím větší je potenciální odchylka v měření. V programu firmy TopCon můžeme navíc zadat konkrétní elevační masku místa, což je v podstatě schéma horizontu v okolí měřeného místa, na které zaznamenáme překážky, které nám brání ve volném výhledu. GPS přístroje vyšších tříd lze nastavit, tak, že při překročení určité hodnoty parametrů DOP přestanou měřit. U internetové aplikace se zadává jenom jakási všeobecná elevační maska – tedy minimální úhel horizontu, nad kterým se nacházejí družice. Vliv parametrů DOP můžeme vidět na následujícím obrázku:



Obrázek č. 10: Vliv hodnoty paramerů DOP na možnou chybu měření

3.3.3 Samotné mapování

Mapování probíhalo v několika dnech a vyzkoušel jsem různé metody přesunu mezi mapovanými místy. Při prvotním testování, zejména pro ověření přesnosti, s jakou GPS udává svoji polohu, které probíhalo v blízkém okolí mého bydliště, jsem se pohyboval pěšky. Hned od počátku jsem zjišťoval, že používání notebooku pro mapování sebou samozřejmě přináší spoustu výhod i nevýhod.



Obrázek č. 11: Test mapování v terénu

Z výhod bych chtěl zmínit hlavně možnost mít v terénu po ruce veškerá data související s diplomovou prací, a to včetně dat z WMS serveru magistrátu města Ostravy, díky mobilnímu připojení k internetu pomocí PCI express CDMA karty AnyDATA. Bez tohoto mobilního připojení bych podobně v terénu nemohl používat ani programové produkty ESRI (ArcMAP a ArcCatalog) z důvodu nutnosti připojení na licenční server, který provozuje VŠB. Samozřejmě je možno namítnout, že při důkladné přípravě projektu pro mapování tyto programové prostředky člověk v terénu nepotřebuje. Ovšem, nikdo není neomylný a tak jsem ocenil možnost mít tyto při sobě.

Nevýhody používání běžného notebooku při práci v terénu jsou nasnadě. Standardní notebook je poměrně objemný, špatně se při práci drží, nemá voděodolnou úpravu, což bylo příčinou prvního nezdaru, kdy mi práci překazil déšť. Na druhou stranu, pokud svítí slunce na displeji toho také mnoho vidět není.



Obrázek č. 12: Mapování „na ostro“

Přesun po vlastních je také při větší rozloze mapovaného území časově náročný a pokud je úkolem projektu optimalizace tras pro svoz odpadu, které je realizováno nákladním automobilem, není na škodu se pohybovat po silniční síti, abychom měli aspoň přibližnou představu o reálné časové náročnosti přesunu mezi jednotlivými sběrnými místy. Při dalším mapování tedy přišlo na řadu jízdní kolo, které na místních komunikacích nižšího řádu dosahuje zhruba stejné průměrné rychlosti jako výše zmíněné nákladní auto, proto není tato metoda přesunu, pro získání povědomí o časové náročnosti svozu, špatná.

Nutno při této příležitosti říci, že k výběru dopravního prostředku přispěl i fakt, že přišli první jarní dny se slunečným počasím :-). Ovšem manipulace s vybavením, což obnáší při každé zastávce notebook vytáhnout z, a pak zase schovat do brašny či batohu, je v tomto případě opět o něco složitější a mimo jiné jsem narazil na stejný problém jako u pěšího přesunu, a to je trvanlivost baterie notebooku, která se používáním GPS modulu ještě o něco snižuje.

Proto přišel na řadu třetí a poslední způsob přesunu a to osobní automobil, který sebou přinesl hned několik zásadních zlepšení. Jednak jsem nebyl limitovaný počasím, jednak nebylo potřeba notebook neustále vytahovat a schovávat a patrně největším pozitivem byla možnost jej připojit na nabíječku, takže mapování mohlo probíhat kontinuálně a nejenom v cca jeden a půl hodinových intervalech z důvodu vybití baterie, jak při pěším nebo cyklo přesunu.

Navíc jsem opět o něco reálněji vyzkoušel simulaci pohybu nákladního automobilu při svozu odpadu z hlediska časových intervalů. Samozřejmě, že jenom velmi rámcově, protože sběrný vůz narazí občas na překážku, například v podobě špatně parkujících vozidel, která pro osobní vůz nemusí být problémem. Samozřejmě, že podmínky prostředí, ve kterém mapování probíhá jsou vždy velmi důležité. Těžko by bylo auto ideálním dopravním prostředkem pro měřiče v případě, že by zájmovým územím byl les nebo velehory.

Celkem zabralo mapování, včetně počátečního testování, necelých 5 dní a při tom jsem nachodil nebo najezdil cca 69 kilometrů!



Obrázek č. 13: Osobní automobil jako ideální varianta přesunu při mapování na sídlišti

Na závěr kapitoly věnované průběhu mapování zmíním ještě programový produkt ArcPad 7.0, který sloužil pro zobrazování naměřených dat. Až na dvě výjimky pracoval bezchybně a byl velmi stabilní – oproti zkušenostem na mobilních zařízeních, kde dochází často k zamrznutí a podobným kolapsům.

3.4 Optimalizace svozových tras

Jako nástroj řešení optimalizačních úloh byl použit software ArcGIS od společnosti ESRI, konkrétně jeho extenze Network Analyst.

ArcGIS je sada softwarových produktů pro geografické informační systémy, které vyvíjí a dodává firma ESRI. Obsahuje produkty pokrývající všechny úrovně GIS: desktopové prostředí, servery se vzdáleným přístupem i příruční zařízení. Možnosti systému ArcGIS Desktop lze dále rozšířit přidáním specializovaných rozšiřujících modulů, neboli extenzí, jako např. Network Analyst, 3D Analyst a další. Každá nadstavba se v rozhraní ArcGIS Desktop prezentuje novým panelem funkcí a nástrojů. [13]

3.4.1 ArcGIS Network Analyst

ArcGIS Network Analyst je softwarová nadstavba ArcGIS Desktop, která umožňuje uživateli vytvořit speciální datový model (network dataset) a v tomto datovém modelu provádět prostorovou analýzu na síti neboli síťovou analýzu. Dataset je možno vytvořit z dat v geografickém informačním systému, uložených buď ve geodatabáze nebo shapefilu a je v něm možné zobrazit reálná data s různými atributy (např. cena, dopravní omezení nebo hierarchie sítě). Uživatel si může stanovit různá kritéria hodnocení sítě, pomocí kterých vyjádří hodnotu konkrétního ukazatele (např. vzdálenost nebo čas), a to podle potřeb daných konkrétní analýzou. Přirozeně, že pro analýzu rychlosti jízdy autobusu v přeplněném centru velkoměsta budou použity jiné atributy, než pro analýzu pohybu auta jedoucího po venkovské silnici. Přičemž obě tyto analýzy mohou využívat stejná data o síti. V prvním případě budeme využívat časovou náročnost takového přesunu, kdežto v druhém můžeme jako atribut pro vytvoření ceny použít vzdálenost mezi jednotlivými uzly sítě. Navíc ArcGIS Network Analyst poskytuje možnost dynamicky tyto ukazatele měnit a simulovat omezení týkající se výšky tunelů, nosnosti mostů, dočasných uzavírek, rekonstrukcí, či nehod. Hierarchie sítě, která klasifikuje její části (dálnice, třídy silnic, místní komunikace apod.) ještě více přispívá ke zdokonalení simulace na rozsáhlých sítích a výstupy takovéto analýzy sítě jsou pak velmi realistické.

ArcGIS Network Analyst je určen pro oblasti dopravy, logistiky, péče o zdraví, bezpečnost, vzdělávání, místní správu a samosprávu, obchod a mnoho dalších. Jeho užitečnými funkcemi jsou např:

- vytvoření cestovního itineráře
- určení nejkratšího spojení
- nalezení nejbližšího střediska (obsluhy)
- stanovení trasy z bodu do bodu
- vymezení oblastí pro obsluhu
- nalezení optimální trasy
- výpočtu matice vzdáleností

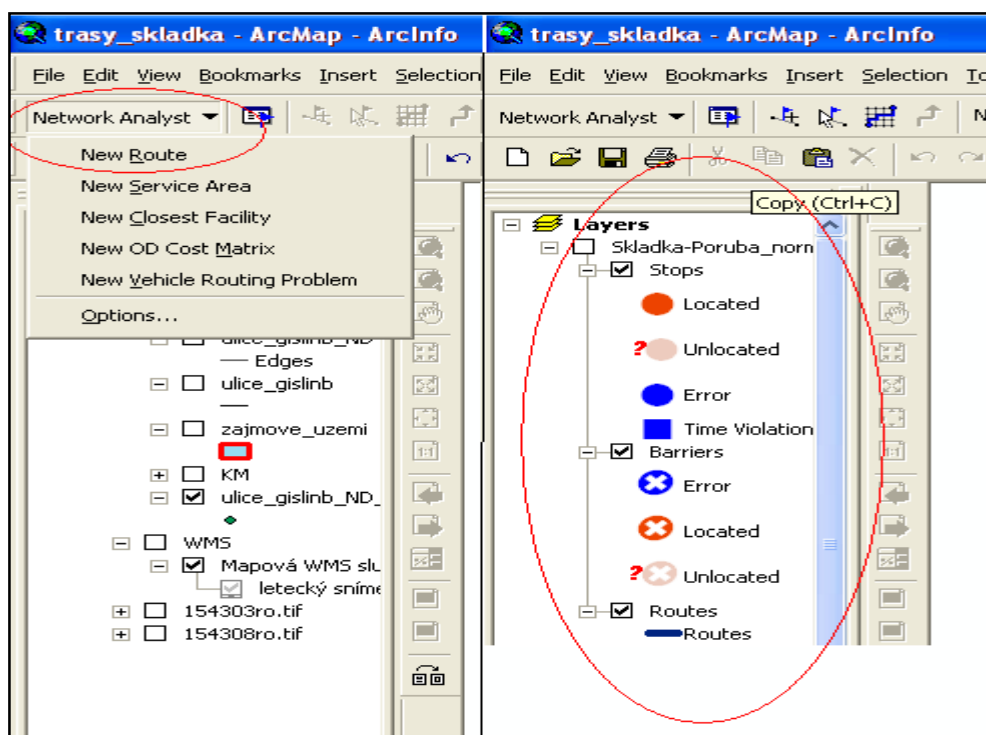
3.4.1.1 Vytvoření datového modelu na bázi shapefilu

Z vrstvy Ulice.shp, která reprezentuje uliční síť celé Ostravy, vytvoříme dataset vhodný pro použití v ArcGIS Network Analyst. V ArcCatalogu pomocí volby New network dataset. Jakmile zvolíme tuto možnost, otevře se karta Network Connectivity, na které definujeme způsob jakým jsou jednotlivé složky sítě na sebe napojeny. Zde se nám otvírají dvě možnosti a to napojení jednotlivých linií sítě v koncovém bodu každé linie nebo v jakémkoliv vertexu. Je potřeba zmínit i schopnost NA, rozeznávat, jestli jednotlivé hierarchické struktury sítě a to, jestli linie na sebe budou při síťové analýze napojeny, na základě jejich Z souřadnic. Ty jsou přiděleny každé linii, respektive oběma jejím koncovým bodům. Pokud Z souřadnice mají stejnou hodnotu, potom dojde k propojení takovýchto linií. Z souřadnice je ovšem jenom jakousi logickou hodnotou a neudává informaci o skutečné výšce koncových bodů. V našem případě žádná hierarchie sítě neexistuje, takže tuto možnost ponecháme zatím stranou.

NA také umí modelovat eventuality spojené s odbočováním dopravního prostředku v silniční síti, tedy zákaz odbočení, zpoždění při odbočování vlevo a podobně. Pokud jsou u vrstev uvedeny atributy jako např. délka linie, čas potřebný k projetí hrany, či směrové omezení, NA je automaticky vyhledá a vytvoří odpovídající atributy sítě. Toto se používá pro určení impedance jednotlivých hran, která posléze ovlivňuje navigaci po optimální trase. U dat, se kterými jsem pracoval, je takovýmto atributem pouze délka jednotlivých linií a proto jsem použili jí, i když vím, že lepší by bylo mít data která vypovídají o času potřebném k překonání této linie. Jiný atribut, který k dispozici máme, je pole obsahující údaje o názvech jednotlivých ulic. Tyto pole NA vyhledá a použije navigaci, neboli vygenerování itineráře.. Před samotným procesem vytváření nového datasetu jsou zrekapitulovány všechny jeho vlastnosti a po odsouhlasení dojde k jeho vytvoření. Jsou tak vygenerovány dvě nové vrstvy, nový dataset ulice_ND.nd a bodová vrstva ulice_ND_junction.shp. Bodová vrstva obsahuje atributy vztahující se k vlastnostem křižovatek, tedy, zda a kterým směrem je možno při cestě uzlem odbočit, zpoždění při odbočení vlevo a podobně.

3.4.1.2 Načtení datasetu do ArcMapu a import zastávek

Nově vytvořený dataset přidáme do datového rámce ArcMap. Ten se nám zobrazí v podobě liniové vrstvy a zároveň se načte i bodová vrstva křižovatek. Pokud nemáme v ArcMapu aktivní extenzi Network Analyst, tak jí zapneme a objeví se nám panel nástrojů pro tuto extenzi. Na rozbalovacím menu NA stiskneme tlačítko New Route a do tabulky obsahu nám přibudou nové vrstvy. Viz. obrázek č. 12.



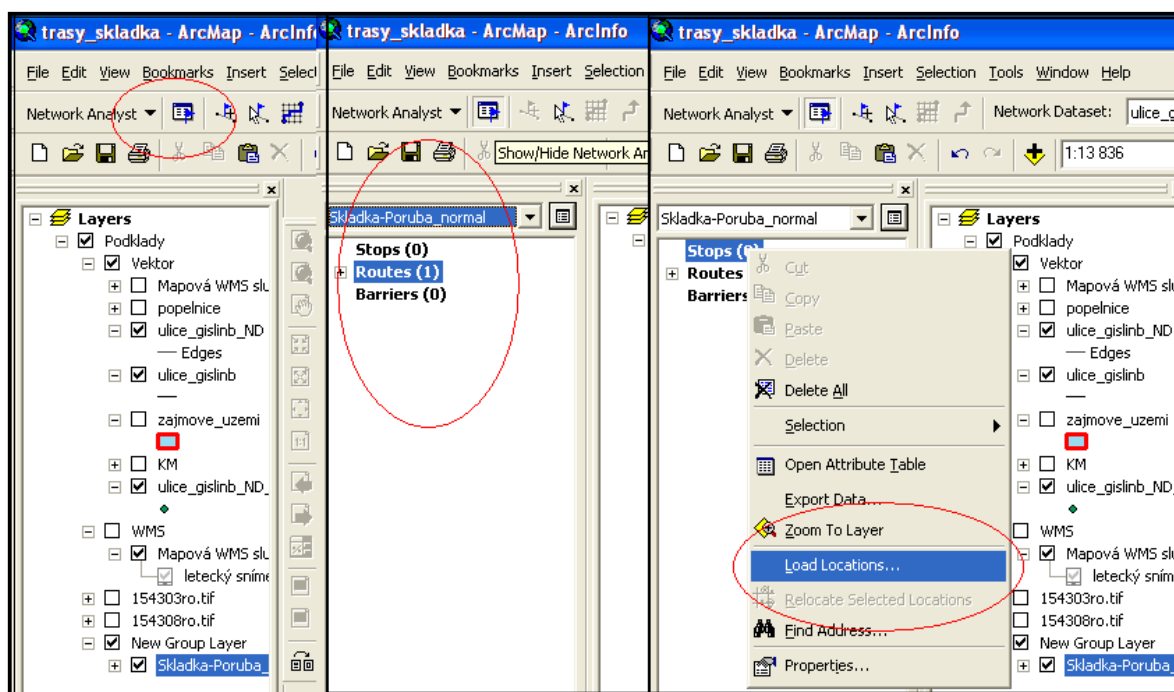
Obrázek č. 14: Vytvoření nové trasy

V této fázi máme vše, včetně patřičných dat, připraveno pro přidávání jednotlivých bodů, mezi kterými budeme vytvářet optimální trasu. Tyto body ArcMap označuje jako Stops neboli zastávky.

Nyní máme dvě možnosti: Buď přidáme jednotlivé zastávky ručně a umístíme je přesně tam, kam se nám zlíbí nebo kam potřebujeme, anebo importujeme vrstvu zastávek z nějaké bodové vrstvy, která odpovídá nám požadovaným zastávkám.

V našem případě tedy zvolíme druhou variantu, jelikož přidávat 118 zastávek ručně není úplně optimální, nehledě na to, že ani nemusíme vědět, kde se tyto zastávky nalézají.

Zvolíme tedy okno Network analyst, potom klikneme pravým na Stops a na této kartě na Load Locations.



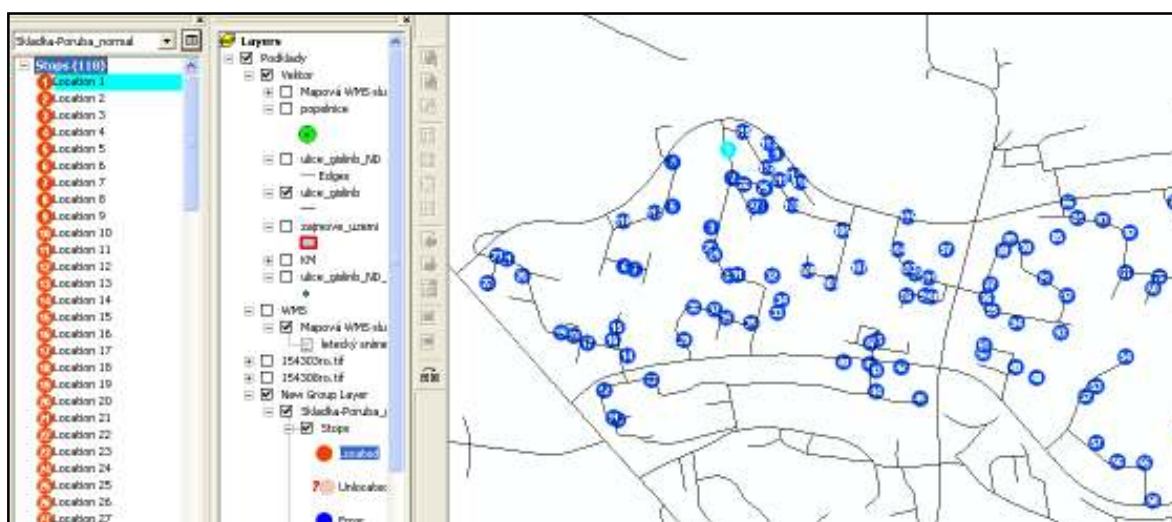
Obrázek č. 15: Import zastávek z bodové vrstvy

Po otevření vkládacího formuláře vybereme vrstvu, kterou chceme naimportovat jako zastávky, atribut podle kterého se mají tyto zastávky seřadit (při ručním vkládání zastávek si můžeme rozmyslet, kterou zastávku umístíme v jakém pořadí) a zvolíme toleranci s jakou se mají načtené body přichytávat k silniční síti. Tato tolerance je v podstatě obalová zóna neboli buffer kolem liniových vrstev. Pokud body leží v tomto bufferu NA je označí jako lokalizované (located) a bere je v potaz při generování trasy. Naopak body, které jsou vně těchto bufferů označí jako unlocated a v analýze s nimi nepočítá.

V našem případě načteme vrstvu Popelnice.shp. Já jsem při prvním pokusu zvolil toleranci snapování na 5 m a dopadlo to tak, že lokalizovaných bylo jenom 20 zastávek ze 118. Je to způsobeno jednak nepřesným měřením a jednak tím, že linie reprezentující silnice je v podstatě velmi tenká a prochází většinou středem komunikace v průměru 6m široké, tzn. že kontejnery, které nestojí fyzicky přímo u silnice, ale v obvyklé betonové ohrádce či výklenku mimo cestu jsou rázem ze hry. Zvýšil jsem tedy při importu výše

zmíněné vrstvy toleranci na 10m. Výsledek byl podstatně lepší, ale stále bylo méně lokalizovaných než těch druhých. Proto jsem toleranci zvýšil rovnou na 30 metrů a nelokalizovány zůstaly pouze tři sběrná místa a to taková, které stojí na místě s nepřesnou vektorizací – tedy, že je liniová vrstva komunikací je zde buď nepřesně provedená nebo chybí docela.

Pokud se týká pořadového čísla zastávek, je možno jednotlivé body mezi sebou posunovat a vytvořit si pořadí v jakém potřebujeme, aby byly navštíveny anebo využijeme možnosti „Reorder stops to find optimal route“, kterou nám NA nabízí, tedy přeházet pořadí zastávek takovým způsobem, aby trasa mezi nimi byla optimální. V tomto případě je velmi užitečná varianta zafixovat první a poslední bod na trase a ostatní „ponechat svému osudu“. Proč je tato varianta tak výhodná vysvětlíme v další kapitole.



Obrázek č. 16: Zastávky jsou načteny a zbývá spustit operaci vyhledávání optimální trasy

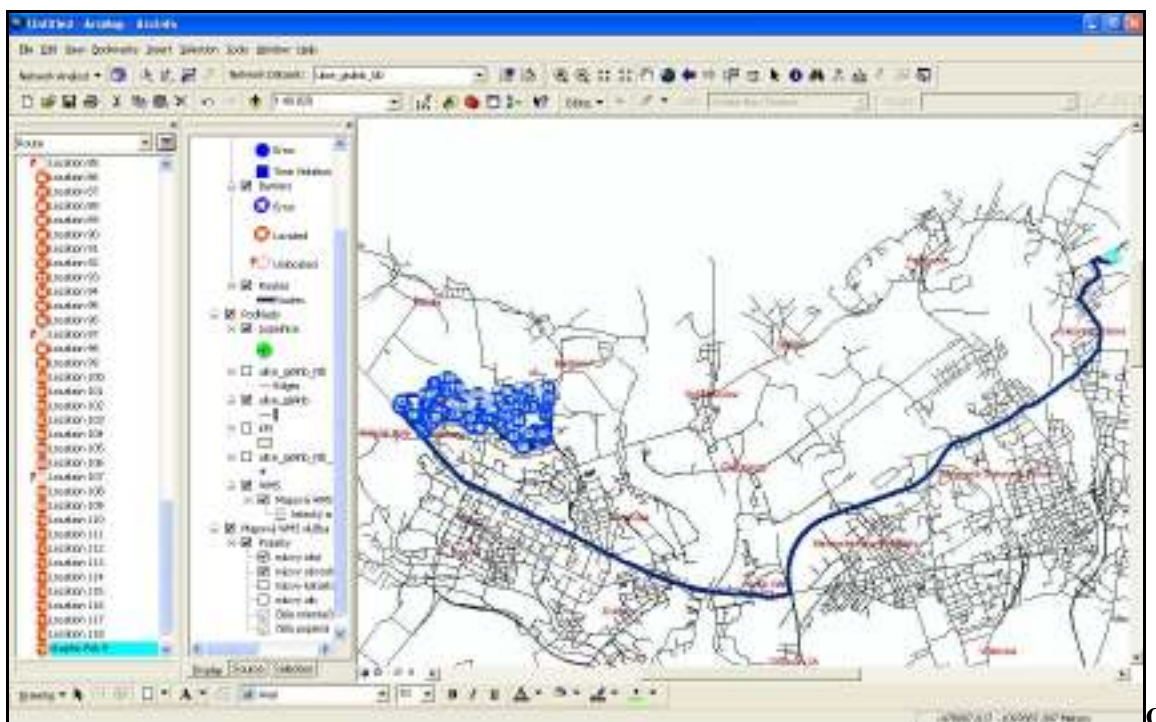
3.4.2 Výsledek analýzy – nalezení optimální trasy

Konečně spustíme tlačítkem Solve proces nacházení optimální trasy. Když proces skončí v datovém rámci se objeví nová liniová vrstva. Ano je to ta pověstná optimální trasa, na kterou jsme tak dlouho čekali. Jistě, to jak Network Analyst vyhledá optimální trasu jsem již viděl za tu dobu, co se s ním učím pracovat mockrát a byť to byl poprvé docela zajímavý zážitek, sledovat jak se vypořádá s nástrahami silniční sítě, tentokrát je to přece jenom v něčem jiné. A to právě v tom, že dnes nehledáme trasu mezi „anonymními“

body datové vrstvy tutorialu, či obvyklé a studentu geoinformatiky notoricky známé vrstvy areálu VŠB TU Ostrava, ale konečně jsou body v datovém rámci body které znám a sám jsem se o jejich vznik zasloužil tím, že jsem je měřil!

Když vyprchalo prvotní nadšení, začal jsem zkoumat jednotlivé úseky trasy. Tyto úseky jsou uživateli Network Analystu k dispozici v podobě itineráře, ve kterém se může pohybovat a zobrazovat jeho detaily jeden po druhém ve zvláštním okně. V tomto okně je možno zoomovat libovolně na jednotlivé úseky, či si případně podrobně prohlédnout a nastudovat odbočku, která nás na trase čeká.

Ještě se vrátím zpět k poznámce o užitečné možnosti zafixovat první a poslední zastávku na trase, tak aby nedošlo k jejich přeházení. Tato možnost totiž přesně vystihuje potřeby svozových společností při svozu odpadu. Nákladní auto na začátku směny vyrazí z parkoviště nebo depa a potřebuje se dostat do oblasti, ve které bude probíhat nakládání odpadu. V momentě kdy je jeho kapacita naplněná nebo všechny zastávky na trase projety, vyrazí směrem na skládku. Takovou trasu znázorňuje obr. č. Logicky tedy umístíme a zafixujeme první bod trasy do místa depa a poslední na skládku, či případně opět zpátky do depa. Potom při přeorganizování pořadí všech zastávek v zájmu nalezení optimální cesty nedojde k tomu, že algoritmus vybere tyto dvě zastávky po sobě a neskončí ve „slepé uličce“ někde na svozové trase.



Obrázek č. 17: Trasa za skládky do zájmové oblasti a zpět.

3.4 Modifikace úlohy optimalizace tras

Jakmile najdeme první optimální trasu, nezbyvá nám, než vymýšlet všechny možné i nemožné varianty zadání parametrů pro nové a nové síťové analýzy. ArcGIS a jeho extenze Network Analyst těchto variant nabízí opravdu velké množství a záleží jenom na kvalitativních a kvantitativních charakteristikách té které vrstvy.

Úkolem této diplomové práce bylo kromě vytvoření pasportu sběrných míst i vygenerování optimálních tras mezi nimi, a to na základě frekvence jejich svozu. K tomuto účelu byly každému místu přiděleny mimo jiné 3 atributy zohledňující tuto frekvenci. Svoz_Ut, Svoz_Ct a Svoz_So. Tyto atributy mohou nabývat právě dvou hodnot. Hodnota 1 znamená, že jsou kontejnery v daný den vysypány, hodnota 0 znamená že nejsou. V atributové tabulce vrstvy popelnice tedy pomocí funkce Select by Attributes, což je v podstatě jednoduchý SQL dotaz, vybereme všechny sběrná místa, u nichž hodnota atributu pro daný den nabývá jedničky. Výsledek dotazu se projeví označením položek databáze, které vyhovují zadanému kritériu. Pak již stačí tyto označené položky vyexportovat do samostatné bodové vrstvy, kterou opět použijeme pro generování zastávek v trase (Route) Network Analyst. Odtud již vše běží podle známého scénáře.

3.4.1 Vytvoření optimálních tras pro jednotlivé svozové dny

Původním záměrem bylo použití skutečného rozvrhu svozů kontejnerů v zájmové oblasti. Jelikož ale nebyl ze strany OZO Ostrava zájem tyto choulostivá data poskytnout, musel jsem použít data fiktivní. Fiktivní ovšem neznamená data úplně nesmyslná. V zájmové oblasti bydlím a proto není těžké frekvenci svozu odpozorovat. Odtud pocházejí použité atributy Svoz_ut, Svoz_ct a Svoz_so. Neboli kontejnery v okolí našeho domu jsou vysypávány právě v tyto dny.

Ke zjištění, jaké území je v jednom svozovém dni obsluhováno stačilo pak zastavit na okamžik svozový vůz a provést rychlý terénní průzkum. Došel jsem ke zjištění, že posádka vozu je o mnoho sdílnější, než management společnosti a je tedy přirozeně příhodnějším zdrojem atributových dat.

3.4.1.1 Úterý

Úterý je v oblasti 7. a 8. obvodu Ostravy Poruby prvním dnem svozu po uplynulém víkendu a proto jsou tento den vyprazdňovány všechny velkoobjemové kontejnery. Výsledek analýzy bude v tomto případě stejný jako při prvotní analýze, kterou jsem provedl nad zájmovým územím.

3.4.1.2 Čtvrtek

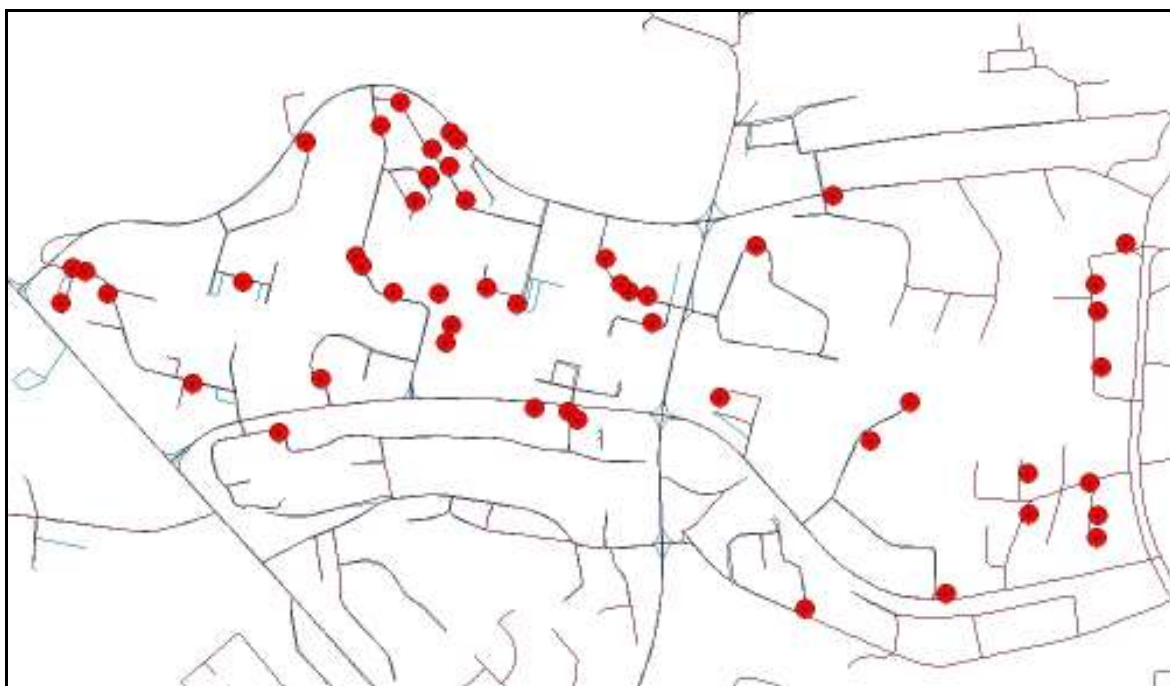
Ve čtvrtek již probíhá svoz jenom některých nádob, ale bohužel přesné informace o tomto výběru již nemám. Na základě důvěrných informací, které opět poskytla posádka vozu jsou tento den obsluhovány hlavně místa, kde se nachází méně kontejnerů. Zahrnul jsem tedy do výběru místa, kde se nacházejí maximálně 2 kontejnery.

3.4.1.3 Sobota

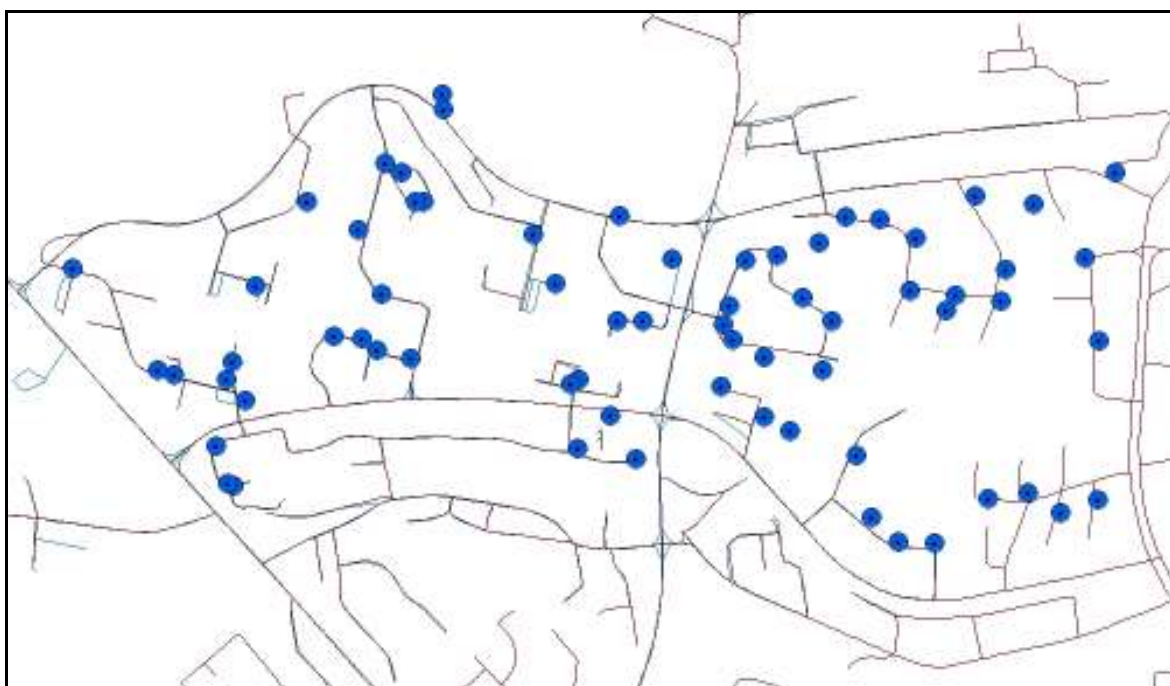
V sobotu přichází na řadu opět kontejnery vynechané při svozu ve čtvrtek a některé další, které jsou svázeny ve všech třech dnech.



Obrázek č. 18: Kontejnery svážené v úterý



Obrázek č. 19: Kontejnery svážené ve čtvrtek



Obrázek č: 20 Kontejnery svážené v sobotu

4 ZÁVĚR

Co říci závěrem? Vrátil bych se alespoň symbolicky na samotný začátek práce.

V době kdy je pohyb a přeprava jednou z nejdůležitější činností, které člověk ke svému životu potřebuje, musí tuto činnost provádět co nejúčelněji a nejefektivněji. K tomu nám jsou schopny dopomoci moderní vymoženosti civilizace, jako jsou informatika a výpočetní technika, která dnes již umí velmi dobře pracovat s prostorovými daty a možnosti moderních geografických informačních systémů jsou čím dál širší. Jednu z mnoha jejich posibilit jsem využil i pro tuto diplomovou práci. A i když je výše v tomto textu uvedeno, že projekt, o který jsem se pokusil, neměl za cíl vytvořit funkční verzi aplikace pro optimalizaci tras, a nedá se tedy používat přímo v praxi, tak přesto mi dal možnost získat povědomí o síťových analýzách a jejich praktickém využití. Zásadní poznatek pro mě byl, že tyto aplikace mohou poskytnout velmi užitečné a cenné informace a výstupy, ovšem, je jim třeba poskytnout odpovídající vstupní data, která není vždy jednoduché pořídit. Ať to již znamená taková data nově vytvořit nebo použít existující, jde skoro vždy o velmi nákladnou metodu jak časově, tak finančně. Sám ovšem zastávám názor, že použití moderních geoinformačních technologií ve spojení s co nejlepšími daty, byť velmi drahými, sebou do budoucna přinese velké zlepšení logistických procesů a tím i kýženou úsporu. Tyto technologie budou pravděpodobně čím dál více ovlivňovat naše životy a přinášet do nich mnohá zlepšení...



Obrázek č. 21: S navigací dojezu kamkoliv [www.navigovat.mobilmania.cz]



Obrázek č. 22: „Chytrá“ navigace a hloupý řidič [www.navigovat.mobilmania.cz]

...i přesto je dobré v některých situacích dobré zachovat chladnou hlavu a spoléhat se na vlastní rozum!

Použitá literatura:

- [1] HORÁK, Jiří: Prostorové analýzy dat, [online] Dostupné na
<http://gislinb.vsb.cz/~hor10/PAD/Skripta/PAD_skriptaF11.pdf>
- [2] VEVERKA, Bohuslav: Teorie systémů a kybernetika. Skriptum, Praha, ČVUT, fakulta
stavební, 1989.154 s.
- [3] Wikipedie: *Internetová otevřená encyklopedie*, [online] Dostupné na
WWW:<<http://cs.wikipedia.org>>
- [4] TUHÁČEK, Jiří: Problémy a algoritmy – Problém obchodního cestujícího, [online]
Dostupné na WWW: <http://www.volny.cz/jtuhacek/school/paa_tsp/index.htm>
- [5] IT magazín Reboot.cz, [online] Dostupné na
WWW: <<http://reboot.cz/info/programovani/nejkratsi-cesta-v-ohodnocenem-grafu/articles.html?id=223>>
- [6] Dopravní informace, [online] Dostupné na
WWW: <<http://www.dopravniinfo.cz/default.aspx>>
- [7] RAPANT, Petr: Geoinformační technologie, [online] 2009. Dostupné na
WWW:<http://gis.vsb.cz/rapant/vyukove_materialy/LS/GIT_FEI/Prezentace/GIT_FEI_2009_13.pdf>
- [8] INTERNETOVÉ FORUM Path.cz, [online] Dostupné na
WWW: <<http://www.path.cz/forum/>>
- [9] <http://celestiamotherlode.net> [online] Dostupné na
WWW:<<http://celestiamotherlode.net/>>
- [10] CREEL, Tom & col.: New Improved GPS, [online] 2006. Dostupné na
WWW:<<http://sidt.gpsworld.com>>
- [11] OŽANA, Roman; BÁRDYOVÁ, Mária: MAPOVÁNÍ PORUBSKÉHO AREÁLU
VŠB-TUO, Semestrální Projekt, Ostrava [online] 2005. Dostupné na
WWW:<<http://www.scribd.com/doc/2165893/Mapovani-porubskeho-arealu-VBTU-Ostrava>>
- [12] VOJTEK, David: Globální navigační a polohové systémy. Učební texty 2009 [online]
dostupné na WWW:<http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps_p/files/pres/GNPS_10.pdf>
- [13] ArcGIS Data Interoperability, [online] dostupné na
WWW:<<http://download.arcdata.cz/doc/2006/Data-Interoperability.pdf>>

[14] ArcGIS Network Analyst, [online] dostupné na
WWW: <<http://old.arcdata.cz/download/doc/2005/ArcGIS-Network-Analyst.pdf>>

Seznam Obrázků:

Obrázek č. 1: Portál aktuálních dopravních informací www.dopravniinfo.cz	12
Obrázek č. 2: Kosmický segment GPS [převzato z 9].....	16
Obrázek č. 3: Řídící segment GPS [převzato z 10]	17
Obrázek č. 4: Autonavigace [www.mio.cz].....	18
Obrázek č. 5: Turistická navigace [www.garmin.cz].....	18
Obrázek č. 6: Vzorový řádek tabulky atributů.....	21
Obrázek č. 7: Jedním ze sledovaných atributů byla i četnost svozu.....	22
Obrázek č. 8: Přehledová mapa zájmového území	23
Obrázek č. 9: Statistika atributu „Počet nádob“	23
Obrázek č. 10: Vliv hodnoty paramerů DOP na možnou chybu měření	28
Obrázek č. 11: Test mapování v terénu	28
Obrázek č. 12: Mapování „na ostro“	29
Obrázek č. 13: Osobní automobil jako ideální varianta přesunu při mapování na sídlišti ..	31
Obrázek č. 14: Vytvoření nové trasy	34
Obrázek č. 15: Import zastávek z bodové vrstvy	35
Obrázek č. 16: Zastávky jsou načteny a zbývá spustit operaci vyhledávání optimální trasy	36
Obrázek č. 17: Trasa za skládky do zájmové oblasti a zpět.....	38
Obrázek č. 18: Kontejnery svážené v úterý	40
Obrázek č. 19: Kontejnery svážené ve čtvrtek	40
Obrázek č. 20: Kontejnery svážené v sobotu.....	41
Obrázek č. 21: S navigací dojedu kamkoliv [www.navigovat.mobilmania.cz]	42
Obrázek č. 22: „Chytrá“ navigace a hloupý řidič [www.navigovat.mobilmania.cz]	42

Seznam Tabulek:

Tabulka č. 1: Vybrané termíny z teorie grafů	4
Tabulka č. 2: Matice incidence pro graf č.1	5

Tabulka č. 3: Matice sousednosti pro graf č.1	6
Tabulka č. 4: Cenová matice pro graf č.2	6
Tabulka č. 5: Specifikace použitého GPS přijímače.....	24
Tabulka č. 6: Přehled vrstev poskytnutých Magistrátem města Ostravy s jejich vlastností	26

Seznam Grafů

Graf č.3: Graf sítě - incidence a sousednost	4
Graf č.2: Graf s ohodnocenými hranami	6